Zinkoxydphosphatzement als Mittel zum Einzementieren von Inlays

Experimentelle Untersuchungen

BARBARA GUTMANN

1968

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545802_0039

AUS DER KONSERVIERENDEN ABTEILUNG
Vorstand: Prof. Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS

DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Direktor: Prof. Dr. Dr. J. HEISS

ZINKOXYDPHOSPHATZEMENT
ALS MITTEL ZUM EINZEMENTIEREN VON INLAYS

Experimentelle Untersuchungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfasst und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Barbara Gutmann
aus Chemnitz

München 1968

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent:	Prof. Dr. Dr. W. KETTERL
Korreferent:	Prof. Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS
Dekan:	Prof. Dr. F. MARGUTH

Tag der mündlichen Prüfung: 10. 12. 1968

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK · 8 München 13 · Telefon 597 397 [52 46 07]

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG

II. DER PHOSPHATZEMENT

III. LITERATUR

IV. EIGENE UNTERSUCHUNGEN, ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN

1. Allgemeine Methodik
2. Versuchsserie A:
   Verteilung von Befestigungszement bei MOD-Inlays
3. Versuchsserie B:
   Auswalzbarkeit von Phosphatzement
4. Versuchsserie C:
   Zementüberschuss als Schutz vor Feuchtigkeit

V. ZUSAMMENFASSUNG

VI. LITERATURVERZEICHNIS

VII. LEBENSLAUF

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

E I N L E I T U N G

Die bisherigen experimentellen Untersuchungen über Zinkoxydphosphatzement beschäftigen sich hauptsächlich mit der materialkundlichen Erforschung des Phosphatzements als Stoff mit bestimmten physikalischen und chemisch-physikalischen Eigenschaften. In vorliegender Arbeit nun sollen vornehmlich praxisnahe Probleme, die der Phosphatzement als Befestigungsmittel von Inlays aufwirft, experimentell untersucht und erörtert werden.

P H O S P H A T Z E M E N T

Die Vorläufer der Zinkoxydphosphatzemente, kurz Phosphatzemente genannt, waren die Zinkoxydchloridzemente, die auf den französischen Chemiker Sorell zurückgehen. Die Zinkchloridzemente unterschieden sich von den heutigen Phosphatzementen dadurch, dass ihre dazugehörige Flüssigkeit aus Zinkchlorid bestand. Den ersten Zement, der statt Zinkchloridlösung Phosphorsäure enthielt, brachte dann Rostaing di Rostagno mit dem Namen "Dentinagene" heraus.
Die Zusammensetzung der heutigen deutschen Phosphatzemente ist Fabrikgeheimnis. So werde ich in Folgendem kurz die Zusammensetzung der auf dem amerikanischen Markt vorhandenen Phosphatzemente charakterisieren, wie sie von der American Dental Association Research Commission veröffentlicht wurden (SKINNER (52)).
Nach den Analysen der American Dental Association gibt es dreierlei Zementpulver: Alle drei bestehen zum grössten Teil aus geglühtem, also CO_2- und H_2O-freiem Zinkoxydpulver. Dabei kann die erste Gruppe als fast reines Zinkoxydzement bezeichnet werden. Die zweite Gruppe enthält zu ca. 9 Gewichtsprozenten auch Magnesiumoxyd. Das sind also die Zinkoxyd-Magnesiumoxyd-Zemente. Die dritte Gruppe bekommt ausser dem Magnesiumoxyd auch noch bis zu 4 % Siliciumdioxyd und Wismuttrioxyd beigemengt.
Die Flüssigkeit besteht durchschnittlich aus:

20,5 - 42,0 % Wasser,
9,8 - 17,6 % gebundener H_3PO_4,
37,8 - 58,7 % freier H_3PO_4,
12,2 - 30,7 % gelösten Phosphaten.

Nach SCHOENBECK (50), EICHNER (zit. n. KETTERL (28)), GOLDER (13), KRIEGER (32), KIRSCHSIEPER (29) u.a. muss man bei der Abbindung zunächst zwischen einer primären Erhärtung, die unter Wärmeentwicklung sehr schnell abläuft, und einer sekundären "Versteinerung" unterscheiden, die sich über Tage und Wochen hinzieht. Werden Pulver und Flüssigkeit miteinander verarbeitet, dann entstehen zunächst primäre, sekundäre und tertiäre Zinkphosphate in kristalliner Form. In der "Versteinerungsphase" gehen dann langsam die primären und sekundären Phosphate mehr und mehr in die schwer löslichen tertiären Phosphate über.
Während der ersten primären, bei Mundtemperatur ca. 10 Minuten dauernden Abbindung besteht eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Speichel bzw. Wasser (DIECK (5), HÖXBROE (24), GOLDER (13)), das wahrscheinlich sogar in chemisch fester Bindung aufgenommen wird. In dieser Phase expandiert der Zement durch die grosse Wärmeentwicklung der chemischen Reaktion und am Patienten auch auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen Anrührplatte und Mundhöhle.

Dennoch resultiert am Ende dieser ersten Phase meist eine Kontraktion (WEIKART (57), DOLDER (6) u.a.), die sich noch etwa 2-3 Stunden hinzieht und dann bei einer Schrumpfung von 0,05-2 % stehenbleibt (WEIKART). Nach SCHOENBECK (50) scheint der Speichel auch in irgendeiner Form an dem sekundären "Versteinerungsvorgang" beteiligt zu sein.
Da reines geglühtes Zinkoxyd mit Phosphorsäure in Verbindung gebracht in ca. 15 Sekunden erhärten würde, muss die Abbindegeschwindigkeit herabgesetzt werden. Dafür gibt es nach KETTERL (28) und SKINNER (52) verschiedene Methoden, die auch miteinander kombiniert werden können:

1. Erhöhung der Säurekonzentration,
2. Hinzufügen von verlangsamenden Stoffen,
3. Verminderung der Oberfläche des Pulvers, das mit der Säure in Kontakt kommt (= Vergrösserung der Pulverkorngrösse),
4. Teilweises Neutralisieren der Flüssigkeit mit einer Base,
5. Verminderung der Anspateltemperatur (Verwendung einer gekühlten Anrührplatte und einer grossen Anspatelfläche),
6. Verminderung der Zusatzportion des Pulvers zur Flüssigkeit,
7. Starkes Glühen des Zinkoxyds.

Folgende Forderungen müssen heute an Phosphatzement gestellt werden:

1. Mechanische Widerstandsfähigkeit,
2. gute Haftintensität,
3. Unschädlichkeit,
4. chemische Widerstandsfähigkeit,
5. Volumenkonstanz,
6. eine bestimmte Feinkörnigkeit des Pulvers,
7. leichte Verarbeitung,
8. geringe Porosität.

Die Punkte 4-8 berühren in engerem bzw. auch in weiterem Sinne diese Arbeit.

L I T E R A T U R

A) PRÜFUNGSNORM

Die zahnärztlichen Materialien müssen bestimmten Untersuchungen sowohl im Labor als auch am Patienten unterzogen werden, damit ihre Brauchbarkeit für zahnärztliche Zwecke festgestellt werden kann. Dabei ist die Festlegung einer standardisierten Versuchsanordnung deswegen von so enormer Bedeutung, weil schon geringe Abweichungen in der Methodik zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen. So wurden allmählich Forderungen nach einer systematischen Prüfungsnorm laut:

KULKA (33) wies schon 1907 darauf hin, wie wichtig eine einheitliche Prüfungsmethode für Zementuntersuchungen wäre. DIECK (5) stellte 1922 Richtlinien für die Silikatzementprüfung auf, und RAWITZER (47) entwickelte schon 1932 "allgemeine Methoden der Materialprüfung von Zahnzementen".
1933 hat nun die American Dental Association (ADA) von PAFFENBARGER (41) und Mitarbeitern die Idee einer genormten Phosphatzementprüfung in der Spezifikation Nr. 8 verwirklichen lassen. Weil diese Materialuntersuchung einfach und rationell ausgeführt werden kann, hat sie sich international durchgesetzt und gilt heute nach der Neuauflage von 1955 (American Dental Association (1)) als Basis jeder Materialprüfung des Phosphatzementes.
1963 entwickelte die FÉDÉRATION DENTAIRE INTERNATIONALE (9) eine im wesentlichen auf der Spezifikation der ADA fussende Prüfungsnorm. Beide Spezifikationen sollen nun in Folgendem so weit angegeben werden, wie sie den Inhalt meiner Arbeit betreffen. Weicht dabei die entsprechende Vorschrift der Fédération Dentaire Internationale von der des Bureau of Standards (ADA) ab, so wird darauf gesondert in Klammern hingewiesen:

1. Die Herstellung der Probekörper des Phosphatzementes soll bei einer Temperatur von 23 $\pm$ 2°C erfolgen. Die relative Luftfeuchtigkeit soll dabei zwischen 55 und 75 % liegen.
2. Die Anmischtechnik ist der jeweils beiliegenden Gebrauchsanweisung zu entnehmen.
   (FDI: Die Gesamtmischzeit soll 1 1/2 Minuten betragen. Das Einrühren des Pulvers soll auf folgende Weise vor sich gehen:

Teil der gesamten Pulvermenge:	Zeit des Einspatelns in Sekunden:
1/16	10
1/16	10
1/8	10
1/4	15
1/4	15
1/4	30
1	90)

3. Die Konsistenz, die zur Herstellung der Prüfkörper verwendet wird, soll mit Hilfe eines genau definierten, einfachen Apparates gefunden werden. Dabei wird ein bestimmtes Volumen frisch angerührten Zementes nach genauer Vorschrift zwischen zwei konstant beschwerte Platten gepresst und der Durchmesser der erhärteten Zementscheibe 10 Minuten nach Anrührbeginn gemessen. Dieser Test ist mit verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen so oft durchzuführen, bis diejenige Konsistenz gefunden ist, bei der das Mittel des grösseren und kleineren Durchmessers der Zementscheibe 30 ± 1 mm beträgt.
4. Die Erhärtungszeit soll bei 37°C (also bei Mundtemperatur) zwischen 4 und 10 Minuten liegen.
   (FDI: 5-10 Minuten)
5. Die Dicke des Filmes soll im Höchstfall 40 µm (= Mikron) betragen.
   (FDI: Die Dicke des Filmes soll für Einzementierungszwecke nicht mehr als 25 µm betragen (feinkörniger Zement = Typ I); sie soll für alle anderen Zwecke nicht mehr als 40 µm dick sein (mittelkörniger Zement = Typ II).)
6. Die Löslichkeit des Phosphatzementes wird in einer genau beschriebenen Versuchsanordnung mit destilliertem Wasser geprüft. Sie darf nicht mehr als 0,30 Gewichtsprozente betragen.
   (FDI: Sie darf nicht mehr als 0,20 Gewichtsprozente betragen.)

Die Spezifikationen des Bureau of Standards sind nach ILG (26) "ein Werk von grosser, in die Zukunft weisender Bedeutung". Ähnliche Ansichten bekunden auch HATTEMER (20), DRUM (7), HANDLOS (17), NEUKOMM (38), PIETSCH (43) u.v.a. Auch DOLDER (6) hält die Prüfungseinrichtung der ADA für sehr objektiv und empfehlenswert, muss gleichzeitig aber feststellen, dass die Prüfungsnorm unvollständig, zu wenig den Mundverhältnissen angepasst sei und in ihrem einseitigen Wert überschätzt würde. Typische physikalische Beanspruchung des Materials unter Berücksichtigung des Milieus der Mundhöhle (Speichel, Temperatur usw.) würden nicht geprüft werden. Auch HESS (22) hebt hervor, dass die Untersuchungen des Bureau of Standards nicht allen Anforderungen entsprächen, und dass z.B. "das Verhalten des Materials gegenüber der Speicheladsorption", das auf der Porosität des Zementes beruht, nicht geprüft würde. WEIKART (57) kritisiert vor allem die Einführung der "Standardkonsi-

stenz": Seiner Ansicht nach ist diese nur zum Einzementieren gebrauchbar. Bei Unterfüllungen z.B. müsste man weit mehr Pulver pro Flüssigkeitseinheit verwenden. Diese Anschauung steht wohl nicht im Gegensatz zu der Auffassung des Bureau of Standards, wenn dieses schreibt: "Nur ein Materialtyp wird spezifiziert. Die Konsistenz der Mischung, die verschiedenartig gebraucht werden muss, kann von dem, der sie verarbeitet, je nach Bedarf variiert werden." Die Spezifikation eines bestimmten Mischungsverhältnisses sollte lediglich als Grundlage für vergleichende Untersuchungen an verschiedenen Phosphatzementen dienen, in der Annahme, dass ein Zement, der in Standardkonsistenz sich als besser erweist als ein anderes Fabrikat, auch in veränderten Konsistenzen höhere Qualitäten besitzt. Die von PAFFENBARGER (41) und Mitarbeitern geschaffene Standardkonsistenz stellt den Durchschnittswert der Gebrauchskonsistenzen dar, die bei zahlreichen Praktikern der Vereinigten Staaten von Amerika untersucht worden sind.
Für WEIKART (57) liegen ganz allgemein die Hauptursachen für die Fehlerquellen vieler Materialprüfungen in vier Faktoren, die die Eigenschaften der Zemente beeinflussen:

1. Mischungsverhältnis
2. Anmischtechnik
3. Anrührdauer
4. Temperatur.

B) FLIESSFÄHIGKEIT, FILMDICKE, KORNGRÖSSE UND EINZEMENTIEREN

Genaue Messungen über die Fliessfähigkeit des Phosphatzementes gibt es nicht, da ihre Grösse sich infolge der sofort einsetzenden Erhärtung ständig ändert und das Fliessvermögen ganz verloren geht, bevor eine Messung abgeschlossen sein kann (HOFFMANN (25)). Von der Fähigkeit des Zementbreies aber, sich leicht zwischen zwei zusammengepressten Flächen verteilen zu können, hängt seine Brauchbarkeit als Befestigungsmittel von Gussobjekten ab. Deshalb müssen hier direkte Beobachtungen nähere Aufklärung verschaffen: In diesem Sinne liess sich WEIKART (57) eine Stahlplatte von 8 mm Dicke herstellen. Darin waren Löcher von 7 mm Durchmesser bis auf 1/100 mm (= 10 µm) Genauigkeit eingebohrt. Zu dieser Vorrichtung liess er sich drei Stempel anfertigen mit 6,99 mm, 6,98 mm und 6,94 mm Durchmesser. Die Löcher, die auf einer Seite hermetisch abgeschlossen waren, stellten zentrale Kavitäten, die Stempel die dazugehörigen zentralen Gussfüllungen dar. Gab er in eine "Kavität" reine Zementflüssigkeit, so liess sich diese mit dem Stempel von 6,99 mm

Durchmesser zwischen Stahlwand und Stempel durchpressen. In diesem Falle ist der Spalt zwischen "Kavitäten" und "Inlaywand" 5 µm breit. Praktisch kommt er aber, so führt WEIKART weiter aus, ungleich zur Wirkung, so dass die Spaltbreite an einer Stelle bis zu 10 µm betragen kann. Frisch angerührter Zementbrei jedoch konnte nicht mit einem Stempel von 6,99 mm, sondern erst mit einem solchen von 6,94 mm Durchmesser hindurchgepresst werden. Das bedeutet also, dass der Spalt zwischen Guss und Präparationswand theoretisch mindestens überall 30 µm betragen muss, damit ein Phosphatzement von Befestigungskonsistenz unter Druck durchfliessen kann. Ausserdem zeigt der Versuch mit reiner Zementflüssigkeit, dass mit dünnflüssigeren Konsistenzen leichtere und bessere Zementausbreitung zu erzielen ist.
GATES (11) betont, wie unbedingt notwendig eine langsam erhärtende Zementmasse zum Einzementieren von Inlays wäre, damit der Zementüberschuss noch überall abfliessen und ein tadelloser Randschluss entstehen könnte. Deshalb rät er auch, leicht mit dem Hammer auf das Inlay zu klopfen und es danach unter Druck zu halten, damit die Kontraktion des Zementes durch dessen anfängliche Expansion ausgeglichen werden könnte. Sodann sollte das Inlay 6 Minuten in Ruhe gelassen werden, bevor der Zementüberschuss entfernt würde. Jede weitere Vollendung empfiehlt er, in einer nächsten Sitzung vorzunehmen.
KETTERL (28) weist auch darauf hin, dass das frisch einzementierte Inlay mindestens 30 Sekunden mit einem Instrument in der Kavität angedrückt werden soll.
Die Notwendigkeit einer Druckanwendung nach und während des Einzementierens hat auch FUSAYAMA (10) erkannt. Zum Einsetzen des Inlays benützt er deshalb einen automatischen Hammer und belässt die einzementierten Stücke unter Handdruck bis der Zement erhärtet ist.
MERK (zit. n. SCHUG-KÖSTERS (51)) weist auf die Verteilung des Zementbreies vor dem Einzementieren hin. Zuerst soll nämlich die Innenseite des Inlays mit Zement beschickt, dann die Kavität bis zum Rand gefüllt werden.
Das Fliessvermögen wird von der American Dental Association und der Fédération Dentaire Internationale an Hand der sog. Filmdicke gemessen. Dabei hat das Bureau of Standards (ADA) Filmdicken von durchschnittlich 30 bis 40 µm gemessen. NORMAN, SWARTZ und PHILLIPS (39) konnten auf diese Weise Filmdicken von 4 bis 9 µm herstellen und halten diesen Film "zum Einzementieren für genügend dünn".
JØRGENSEN (27) hat die Struktur des Zementfilmes unter dem Mikroskop untersucht und herausgefunden, dass sich ein Phosphatzement von Befestigungskonsistenz unter Druck von einer bestimmten Filmdicke abwärts (ab ca. 20 µm) wieder in zwei Phasen teilen kann, nämlich in einzelne Pulverklümpchen und reine Phosphorsäurelösung.

Die Korngrösse des Zementpulvers scheint die entstehende Filmdicke wesentlich zu beeinflussen. Sie variiert oft bei ein und derselben Marke und

liegt nach DOLDER (6) heute bei Grössen zwischen 5 und 15 µm. PAFFENBARGER (41) hat 1933 noch Korngrössen bis zu 100 µm gemessen. Nach PORSCHE (45) sind die grössten Partikel des Zementpulvers, aber auch ihr prozentualer Anteil an diesem für die kleinste zu erreichende Stärke des Zementfilmes verantwortlich. Andere Autoren unterstützen diese Ansicht, indem sie mit Experimenten veranschaulichen, dass kleinere Korngrössen den korrekten Sitz von zufriedenstellenden Inlays erleichtern (GILLET und IRVING (zit. n. PAFFENBARGER (41), JØRGENSEN (27)). Deshalb fordert auch die Spezifikation Nr.6 der FÉDÉRATION DENTAIRE INTERNATIONALE (9) die Herstellung feinster Zementpulver, die als Typ I nur zum Einzementieren verwendet werden sollen.

C) POROSITÄT, KONTRAKTION UND LÖSLICHKEIT DES PHOSPHATZEMENTS

Die Korngrösse des Zementpulvers ist nach WEIKART (57) auch an der Kontraktions- und Porositätsgrösse und damit an der chemischen Widerstandsfähigkeit des Zementes beteiligt. Mit zunehmender Korngrösse steige seiner Ansicht nach auch die Schrumpfungsneigung des Zements. Er nimmt an, dass ein feinkörniges Pulver die Haltbarkeit einer Füllung auch deshalb erhöhe, weil es eine glattere Zementoberfläche herstelle, die dem Speichel geringere Angriffsmöglichkeit bieten würde.
Die Porosität selbst ist zahlenmässig nur schwer zu erfassen und findet wohl deshalb keine Erwähnung in der Spezifikation des Bureau of Standards und ebensowenig in der Prüfungsnorm der Fédération Dentaire Internationale. Die Löslichkeit prüft das Bureau of Standards (AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (1)) in destilliertem Wasser und setzt die Grenze für einen noch brauchbaren Phosphatzement bei 0,3 Gewichtsprozenten Substanzverlust an. Dieser Wert soll mit Rücksicht auf die verbesserten Qualitäten der neueren Zemente in der nächsten Überarbeitung, die gerade läuft, auf 0,2 Gewichtsprozente reduziert werden, wofür sich die FÉDÉRATION DENTAIRE INTERNATIONALE (9) bereits entschieden hat.
1913 hielt GREVE (12) die Porosität, Löslichkeit und die Volumenveränderlichkeit für die grössten Nachteile der Zemente. MORGENSTERN (37) prüfte 1905 die Porosität der Phosphatzemente, indem er seine Versuchszemente in die "Kavitäten" einer mit Ölfarbe und Firnis abgedichteten Elfenbeinplatte füllte und diese 14 Tage lang in eine 0,5 %ige Methylenblaulösung tauchte. Der Farbstoff war bis auf 1/2 mm in den Zement eingedrungen, und der Autor nahm an, dass bei längerem Liegen in der Flüssigkeit jeder Zement durch und durch blau gefärbt werden würde. Die Lös-

lichkeit bestimmte er durch Einlegen der erhärteten Zementproben in eine 0,5- und eine 0,2 %ige Milchsäurelösung, wobei er beobachtete, dass die Phosphatzemente stärker löslich sind als die Silikatzemente.
KULKA (33) stellte zwei Jahre später ähnliche Versuche an. Er empfiehlt dringend, die Wirklichkeit des Mundmilieus dabei einzubeziehen. Deshalb prüfte er die Löslichkeit in einer Mischung von Speichel und Wasser im Verhältnis 1 : 3 im Thermostaten bei 36°C. Die Porosität der Zemente erfasste er mittels einer neuartigen Methode: Indem er die erhärteten Zementproben vor und nach dem Liegen in Wasser wog, stellte er das Gewicht des von den Poren aufgenommenen Wassers fest.

Später erwähnt KULKA (33), dass der stärkere Speichelfluss bei saurer Geschmacksreaktion die Zerstörungskraft der in den Mund aufgenommenen Säuren beträchtlich herabsetzt und deshalb zur Prüfung der Zementlöslichkeit keine starken Säuren verwendet werden sollten. Zur sauren Reaktion des Speichels berichtet POHLE (44), dass Schwankungen von $C_H = 10^{-5,25}$ bis $10^{-7,86}$ auch an ein und derselben Person auftreten können.
PROELL (46) stellte 1913 ähnliche Färbeversuche wie KULKA an. Ein Nachweis der Durchlässigkeit für Wasser durch Phosphatzement von 1,5 bis 2 mm Dicke gelang ihm, ein Durchtreten von Bakterien jedoch (Bacterium coli) konnte er nicht feststellen. Auffallend starke Löslichkeit in Flüssigkeiten wurde bei Phosphatzementen beobachtet. PAPE (42) bewies 1931 die Porosität der Phosphatzemente, indem er Arsenik durch die Zementproben diffundieren liess. Er bemerkt, dass dabei ein Teil durch den Füllungsrand, ein Teil durch das Füllungsmaterial selbst hindurchtrat.
RICHTER (49) färbte seine Silikatproben mit 0,005 %iger Methylenblaulösung und hält es für verfehlt, Materialien in unnatürlichem Milieu zu prüfen.
Erst die röntgenographische Untersuchungsmethode von HALLA und KUTZELNIGG (16) brachte 1933 Aufklärung in das Problem der Löslichkeit der Phosphatzemente. Damit nämlich wurde der Nachweis geführt, dass freies Zinkoxyd auch noch in abgebundenem Zement in relativ grosser Menge vorhanden ist. Das ist ein Grund dafür, dass Phosphatzemente in der Mundflüssigkeit wenig haltbar sind.
Alle Autoren sind sich im allgemeinen darüber einig, dass die Porosität zunimmt, wenn in der primären Abbindezeit Feuchtigkeit an den Zement gelangen kann. Deshalb auch weist GATES (11) schon 1928 auf die Bedeutung des überschüssigen Zementes beim Einzementieren hin, indem er behauptet, dass der Zementüberschuss fähig wäre, unkontrollierbare Feuchtigkeit fernzuhalten.
1930 mass GOLDER (13) die Eindringtiefen von Methylenblau in Zement als erster exakt mit einem Messmikroskop. Seine Messwerte betrugen im Höchstfall 1,225 mm. Zum Färben verwendete er eine 0,2- und eine 1 %ige Methylenblaulösung.

KNAPPWOST (31) und HARNDT (18) erklären, dass durch das Eindringen des Speichels in die Poren des Zementes dort Fäulnisvorgänge hervorgerufen würden, die den Abbau des Zementes förderten. KNAPPWOST behauptet sogar, dass Phosphatasen an diesem Zementzerfall beteiligt seien und der ganze Vorgang analog der Schmelzkaries verliefe. Als Gegenmassnahme hat man schon Zemente verwendet, die mit Antiseptika vermischt waren. Diese Materialien jedoch, so glaubt HANDLOS (17), könnten zu leicht ausgelaugt werden. Dadurch bildeten sich Hohlräume, die eine grössere Gefahr darstellten als die Antiseptika vorher Nutzen gebracht hätten.
CASTAGNOLA (3) zieht bei seinen Färbeversuchen einen Vergleich zwischen Phosphatzementen und neueren Kunststoffmaterialien: Im Gegensatz zu den Kunstharzen färbt sich der Phosphatzement nicht nur am Rande der Füllung, sondern auch innen. Zum Färben benutzte er Prontosil rubr um solubile.
Während GRIESER (14) bei seinen Dichteuntersuchungen kein Eindringen von Methylenblau in den Zement feststelite, konnte COST (4) bei allen Fabrikaten eine 1 mm tiefe Färbung finden. NEUKOMM (38) mass unter dem Mikroskop die Grösse der Poren im Zement mit dem Okularmikrometer. Sie betrug durchschnittlich 0,005 bis 0,016 µm (Mikron) im Durchmesser. Weiterhin teilt er mit, dass durchweg bei allen Phosphatzementen eine Porosität zutage getreten wäre. Diese würde mit der Korngrösse des Pulvers zunehmen. Auch VOLKMANN (56) teilt diese Ansicht auf Grund der Ergebnisse seiner Experimente.
Nach KETTERL (28) sinkt die Löslichkeit der Silikatzemente mit der Menge des Pulvers ab, die in die gleiche Menge Flüssigkeit eingespatelt wurde. Hinsichtlich der Phosphatzemente kommen HALLA und KUTZELNIGG (16) mit ihrer röntgenographischen Untersuchungsmethode zu ähnlichem Ergebnis.

D) RANDSCHLUSS VON INLAYS

Nach WEIKART (57) soll der Randschluss eines perfekt sitzenden Inlays vor und nach dem Einzementieren 30 µm betragen. Die Zementschicht setzt er wie PORSCHE (45), BECK (2) u.a. auf ca. 25 µm fest. Von der Grösse des Spaltes zwischen Inlayrand und Zahn hängt nach KNAPPWOST (31) die Menge des eindringenden Speichels ab, und zwar in der 3. Potenz: "Ein doppelt so grosser Spalt lässt einen achtmal so grossen Flüssigkeitstransport zu." Seiner Ansicht nach könnte die Kontraktionsgrösse der Zementschicht unter dem Inlayrand wegen ihrer Geringfügigkeit vernachläs-

sigt werden. Dass trotzdem dieser Spalt sehr leicht ausgewaschen würde, hinge von der Expansion und Kontraktion des Metalles ab, das auf Temperaturdifferenzen anders reagieren könnte als die sich darunter befindliche Zementschicht.
HESS (22) prüft den Randschluss der Goldgussfüllung mit drei Methoden:
1. Kapillarattraktionsverfahren (wie die meisten Autoren)
2. Unterdruckmethode (wie auch KNAPPWOST (31) und LIEBELT (35))
3. Iontophorese.

Als Farbstoffe dienten ihm Eosin, Methylenblau, Haematoxylin und vor allem Prontosil rubrum. Seine Untersuchungen hinsichtlich des Randschlusses erbrachten für Edelamalgamfüllungen geringfügig bessere Ergebnisse als für Goldinlays!

Die angeführte Literatur sollte die Vielfalt der Fragen umreissen, die im Laufe der nun folgenden praxisnahen Untersuchungen über den Phosphatzement als Befestigungsmittel von Inlays auftauchen:
1. Wie verteilt sich der Phosphatzement beim Einzementieren von MOD-Inlays?
2. Wie dünn lässt sich der Zement auswalzen, ohne dass er Blasen bzw. zementfreie Partien bildet?
3. Schützt der Zementüberschuss vor Eindringen von Mundflüssigkeit, und wie weit dringt diese in den Überschuss bzw. unter das Inlay ein?

EIGENE UNTERSUCHUNGEN, ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN

ALLGEMEINE BEDINGUNGEN FÜR SÄMTLICHE VERSUCHSSERIEN (A, B, C)

1. Es wurde Harvard-Phosphatzement der Firma Richter & Hoffmann verwendet. Das Material war normalhärtend und hatte die praxisübliche Farbe Hellgelb Nr.4. Alle Proben einer Versuchsserie stammten aus der gleichen Packung.
2. Alle Versuche wurden möglichst praxisnah konstruiert.
3. Das Anrühren des Zements erfolgte immer bei einer Raumtemperatur von 20-22°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60-67 %. Absichtlich wurde auf das Anrühren auf der Thermoanrührplatte verzichtet (bis auf einige Ausnahmen, die jeweils extra erwähnt werden), um die Praxisrealität möglichst genau zu verwirklichen.
4. Alle Gegenstände, die mit dem frisch anzurührenden Zement in Berührung kamen, hatten obengenannte Raumtemperatur. Sie waren trocken und sauber, also auch frei von allem erhärteten Zement.
5. Die Anrührzeit dauerte 90 Sekunden (nach Stoppuhr), wobei die Anrührtechnik so gehandhabt wurde, dass zunächst nacheinander zwei Sechzehntel des zu vermischenden Zementpulvers, dann ein Achtel und dann wieder nacheinander drei Viertelportionen in die Zementflüssigkeit eingespatelt wurden. Es wurde auf die sorgfältige, gleichmässige Durchspatelung grosser Wert gelegt. Kein Pulver, keine Flüssigkeit und kein unvollständig angerührter Zement durfte am Rand der Glasplatte liegen bleiben. Die einzelnen Versuchsserien wurden möglichst rasch hintereinander fertiggestellt. Dadurch sollte ein hohes Mass von Gleichmässigkeit der Mischung erreicht werden.
6. Es bereitete Schwierigkeiten, eine Anrührkonsistenz zu finden, die sowohl den Anforderungen der Literatur und der Gebrauchsanweisung der Herstellerfirma, als auch den in der Praxis zum Einzementieren von Inlays verwendbaren Konsistenzen gerecht wird. Zunächst entschied ich mich für eine zum Einzementieren gerade noch brauchbare Konsistenz, wie sie auch in der Praxis üblich ist; und zwar zu folgendem Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis:

   0,81 g Pulver zu 0,27 ccm Flüssigkeit.

   Da sich aber alle Autoren darüber einig sind - und ihre Experimente beweisen es -, dass die Qualität des Zementes mit dem Sinken des Pulveranteiles herabgemindert wird, entschloss ich mich, gleichzeitig alle drei Versuchsserien auch mit der etwas dickeren Herstellerkonsistenz anzuspateln:

   0,90 g Pulver zu 0,25 ccm Flüssigkeit.

Dieses Mischungsverhältnis ist, wie HATTEMER W. N. (20) ermittelt hat, für Harvard-Phosphatzement normalhärtend gleich der Standardkonsistenz des Bureau of Standards. Zur Herstellung dieser Mischung musste allerdings eine Thermoanrührplatte mit Wasser von 14-16°C benützt werden, um eine für Einzementierungszwecke brauchbare Konsistenz zu erhalten. Beide Konsistenzen besassen unter den erwähnten unterschiedlichen Anrührbedingungen in etwa den gleichen Flüssigkeitsgrad.
Das Pulver wurde auf der Analysenwaage ausgewogen; die Flüssigkeit wurde pipettiert.

7. Im Wesentlichen erfolgte die Herstellung der Zementproben nach den von der American Dental Association festgesetzten Vorschriften. Abweichungen hiervon werden gesondert aufgeführt.

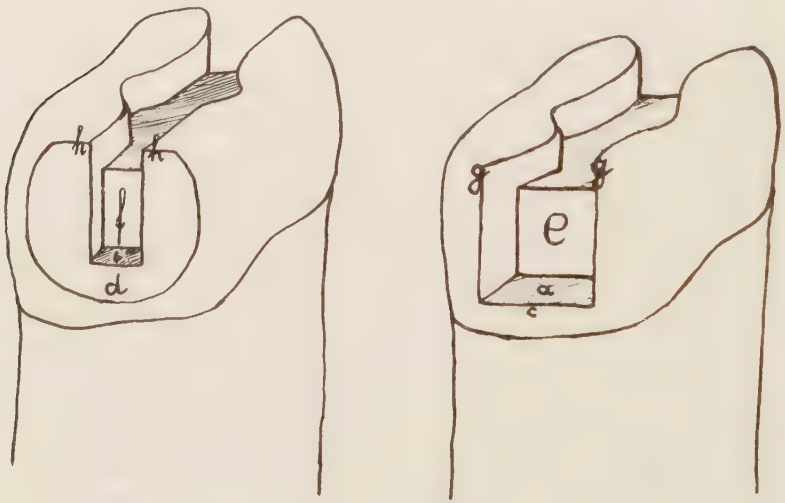
EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Es war zunächst geplant, durch eine entsprechende Versuchsanordnung festzustellen, ob, in welchem Umfang und in welcher Zeit sich beim Einzementieren von Inlays das Volumen des Zements unter Druck verändert, ob es genügt, nach dem Einzementieren einen kurzen Druck auf das Inlay auszuüben. Die Ausführung scheiterte an folgender Schwierigkeit:
Der Druck, der beim Einzementieren eines Inlays angewandt wird, ist relativ gross; dem genügten die vorhandenen Messgeräte nicht, die gleichzeitig eine sehr hohe Empfindlichkeit besitzen mussten, um Differenzen bis zu einem µm (Mikron), um die es sich bei diesen Versuchen voraussichtlich handeln würde, messen zu können. Einerseits also muss das dazu erforderliche Messgerät hochempfindlich, andererseits äusserst stabil gebaut sein. Durch den ausgeübten verhältnismässig hohen Druck nämlich wird sehr leicht eine minimale elastische Biegung des Versuchsobjektes (Zahn, Inlay und Unterlage) festgestellt, die bei jedem Versuch unterschiedlich war, und die ausserdem mit ihrer Grösse die eigentliche Messung weit übertraf.
Die Versuchsreihen in dieser Richtung wurden abgebrochen, weil hier nur mit einem sehr kostspieligen Apparat eine sichere Aussage gemacht werden kann.

VERSUCHSSERIE A

I. ANGEWANDTE METHODIK

Hier wurde folgende Frage untersucht: Wie verteilt sich der Phosphatzement beim Einzementieren von MOD-Inlays, und wie kann diese Verteilung günstig beeinflusst werden?
Dazu wurde ein Palapont-Klarsichtmodell in etwa natürlicher Grösse hergestellt, das einen Molar mit MOD-Kavität und dem dazu passenden abnehmbaren Inlay darstellt. Die Kavität (Abb.1) ist dem heutigen Stand der Kavitätenpräparation angemessen. Dabei ist eine Approximalseite nach Black präpariert mit Kastenform, die andere mit Scheibenschnitt und einem kleineren Kasten (nach SCHUG-KÖSTERS (51)) (Abb.1).



a)

Präparationsflächen von Approximalseite 1 gesehen mit Scheibenschnitt und kleinem Kasten

b)

Präparationsflächen von Approximalseite 2 gesehen mit Kastenpräparation nach Black

ABBILDUNG 1

Präparationsmodell

Es wurden 6 verschiedene Versuchsreihen angesetzt, wobei die Verteilungsmethode des Zements
a) am Inlay,
b) in der Kavität und
c) gleichzeitig auf beiden variiert wurde.
In Vorversuchen wurde zunächst festgestellt, dass nicht die Grösse des Druckes, sondern die Art seiner Anwendung für eine zweckmässige Verteilung des Zementes von Bedeutung ist. Unter dem durchsichtigen Palapontinlay nämlich konnte direkt beobachtet werden, dass das langsame Einsetzen des Inlays dem Zement, der im weichen Zustand sehr stark an der Unterlage klebt und überhaupt eine grosse Viskosität besitzt, die weitaus grössere Möglichkeit gibt, sich überallhin zu verteilen, als wenn die Füllung in kürzerer Zeit eingedrückt wurde, z.B. in nur einer Sekunde. Diese Erfahrung habe ich mir bei allen Versuchen zunutze gemacht, so dass alle Zementierungsvorgänge nicht weniger als zwei Sekunden dauerten.
Die einzelnen Versuche wurden mit zwei Konsistenzen durchgeführt, nämlich mit der schon erwähnten Standardkonsistenz auf Thermoplatte angerührt und einer etwas weniger schweren Befestigungskonsistenz, die auf normaler Glasplatte vorbereitet wurde. Die Fliessfähigkeit der beiden Konsistenzen, um die es sich bei vorliegenden Untersuchungen hauptsächlich handelt, war bei beiden Mischungsverhältnissen in etwa dieselbe. Dies bestätigten die Ergebnisse der Versuchsproben, die ebenfalls gleich ausfielen und deshalb auf Tabelle 1 nicht getrennt aufgeführt werden. Bei einem Versuch, die Standardkonsistenz, auf normaler Glasplatte angerührt, als dritte Versuchskonsistenz einzuschalten, musste festgestellt werden, dass diese eine viel zu grosse Viskosität für Einzementierungen aufwies und sehr schlechte Ergebnisse brachte.
Die einzelnen Versuche wurden mit 1-6 bezeichnet. Eine Übersicht mit den Ergebnissen zeigt Tabelle 1: (siehe Seite 20).

Pro Versuchsreihe (1., 2., 3., ...) wurden 20 Versuche hergestellt; 10 mit dickerem, 10 mit dünnerem Mischungsverhältnis, jeweils 5 am gleichen Modell. Die Versuche wurden nämlich an 2 Modellen vorgenommen, die sich durch die Grösse der Kavitäten- bzw. Inlayflächen und der Winkel der Flächen zueinander unterschieden. Das war nötig, weil zunächst nicht klar war, ob diese Flächen und Winkel nicht wesentlich an der Verteilung des Zements beteiligt sind. Während der Versuche stellte sich jedoch heraus, dass die beiden Ergebnisse sich jedesmal nur minimal voneinander abhoben. Deshalb konnten sie in Tabelle 1 zu einem Ergebnis zusammengefasst werden.
Inlay und Kavität wurden hauchdünn mit Vaseline isoliert, um nach dem Erhärten wieder getrennt werden zu können. Daraufhin wurden Inlay, bzw. gleichzeitig Kavität und Inlay auf die in Tabelle 1 beschriebene Methode mit Zement bestrichen. Das Inlay wurde langsam in die Kavität einge-

Versuchsreihe	a	b	c	d	e	f	g	h
Art des Bestreichens mit Zement	Stufe Black	Stufe im Scheiben-schnitt	Cervic. Federrand b. Black	Cervic. Scheiben-schnitt	Approx. Fläche d. Blackschen Kastens	Approx. Fläche des Kastens im Scheiben-schnitt	Kanten: Übergang von occlusal zum Black-Kasten	Kanten: Übergang von occlusal zum Scheiben-schnitt
1. Zement wird occlusal auf die Innenfläche des Inlays gefüllt		++++		++	+	+	++	+
2. Inlay wird auf allen drei Innenflächen bestrichen		++++		++	++	++	++	+
3. Inlay wird auf allen drei Innenflächen bestrichen, besonders auf den cervicalen Interdentalenden des Inlays	+++	++++	+++	+++	++	+++	++	+
4. Inlay und Kavität werden auf den occlusalen Berührungsflächen bestrichen		++++		++	++	++	++	+
5. Inlay wird auf der occlusalen Innenfläche, Kavität occlusal und auf den beiden Approximalflächen bestrichen	+++	++++	+++	++++	++++	++++	+++	++
6. Bestreichung von Inlay und Kavität wie bei 5., jedoch nach Abrunden der Kanten der Kavität (s. g und h in Abb. 1)	+++	++++	+++	++++	++++	++++	++++	+++

TABELLE 1

Übersicht über die Verteilung des Zementes bei MOD-Inlays in Abhängigkeit von der Bestreichungsmethode. (Erklärung im Text)

drückt, 30 bis 60 Sekunden unter Fingerdruck belassen und 15 Minuten lang gleichmässig mit einem Gewicht von 1 kg belastet. Sodann wurden durch das durchsichtige Palapont-Inlay und an den wieder abgenommenen Inlayflächen die Stellen ermittelt, die mit bzw. nicht mit Zement bedeckt waren.

Es stellte sich heraus, dass die 20 Versuche jeder einzelnen Reihe sehr ähnliche Ergebnisse erbrachten, die von den wesentlichen in Tab.1 und Abb.1 mit a, b, c, ... bezeichneten Berührungsflächen zwischen Kavität und Inlay bestimmt werden. Gebiete, die in Tab.1 nicht aufgeführt sind, waren regelmässig von Zement ausgefüllt gewesen. Ist eine Fläche von Zement unbedeckt geblieben, dann wurde das entsprechende Feld in Tab.1 offen gelassen. Eine vollkommen ausreichende Zementschicht wurde mit ++++ gekennzeichnet. Bei schlechterer Verteilung wurden entsprechend weniger Pluszeichen angegeben.

Es wurden folgende Versuchsreihen angesetzt:

1. Hier wurde die Methode angewandt, den frisch angerührten Zement nur in das MOD-Inlay einzufüllen. Dabei benetzt der flüssige Zement vor dem Einzementieren ausser der okklusalen Innenfläche des Inlays nur noch einen ganz geringen Teil der Innenapproximalflächen. Das Ergebnis an den charakteristischen Flächen ist, wie Tab.1 zeigt, unbefriedigend.
2. Das Inlay wurde auf allen drei Innenflächen mit Zement bestrichen; daraus ergibt sich, dass beide Approximalflächen zwar vollständiger aber noch nicht ausreichend mit Zement bedeckt werden.
3. Alle drei Innenflächen des Inlays wurden mit Zement bestrichen, wobei der Rest am Zementspatel noch je einmal auf den beiden cervicalinterdental liegenden Inlayrändern abgestrichen wurde, was an diesen für die Zementverteilung wichtigsten Gebieten eine wesentliche Verbesserung hervorbrachte. Zudem verursachte diese kleine Handhabung keinen grösseren Zeitaufwand, was für eine eventuelle Forderung für die Praxis von Bedeutung wäre.
4. Hier wurden zum erstenmal Inlay und Kavität (wie auch in den folgenden Versuchen) gleichzeitig mit Zement bestrichen; und zwar das Inlay innen wieder nur okklusial (wie in der ersten Versuchsreihe). In die Kavität wurde der Zement ebenfalls hauptsächlich okklusal eingebracht. Das Ergebnis erweist sich zu dem der dritten Versuchsreihe als ein Rückschritt (Tab.1 !).
5. Wiederum wurden sowohl Inlay als auch Kavität mit Zement bestrichen, und zwar das Inlay wieder okklusal, die Kavität jedoch nicht nur okklusal, sondern auch zweimal approximal. Die Ergebnisse sind zum erstenmal fast sehr gut: Vornehmlich die Übergänge von den okklusalen Flächen auf die beiden vertikalen Approximalflächen (auf Abb.1 g und h) zeigen noch ungenügende Zementbedeckung, was in Versuchsreihe 6 noch behoben werden konnte.
6. Sie stellt eine Vervollständigung von Versuchsreihe 5 dar:

Wie dort wurde auch hier die gleiche erfolgreiche Bestreichungsmethode von Kavität und Inlay angewendet, nur dass vor dem Einzementieren die Ecken g und h der Kavität (s. Abb.1) ganz leicht abgerundet wurden.

II. VERSUCHSERGEBNISSE

Es brachte also diejenige Versuchsreihe das beste Ergebnis, bei der zwar das Inlay nur auf der okklusalen Innenfläche, die Kavität aber sowohl auf beiden Approximalflächen als auch auf der Okklusalfläche bestrichen worden war. Ausserdem mussten die okklusal-approximalen Kanten an der Kavität abgerundet sein.
Allgemein konnte beobachtet werden, dass an allen Axialflächen, nämlich dort, wo sich während des Aktes des Einsetzens zwei Flächen längere Zeit aneinander rieben, wenig oder gar kein Zement hängenblieb.

Als sehr schwacher Punkt erwies sich die Stufe auf der nach Black präparierten Approximalfläche. Der stark ausgeprägten Kastenform ist anscheinend die doch nur mittelmässige Fliessfähigkeit des noch flüssigen Phosphatzements nicht gewachsen. Überhaupt, das konnte klar beobachtet werden, lässt sich der Zement nur schwer um einen rechten Winkel pressen, der von zwei relativ grossen Flächen gebildet wird, vorausgesetzt nur eine der Flächen ist mit Zement belegt worden.
Schon wesentlich besser liegen die Verhältnisse auf der mit Scheibenschnitt präparierten Approximalseite. Hier ist der weniger tiefe Kasten in eine grosse, einheitlichere Fläche, nämlich die des Scheibenschnittes, eingebettet. Die den zähen Zement so zu führen vermag, dass hier die Stufe des Kastens immer mit Zement bedeckt ist. Zu den vielen Vorteilen (SCHUG-KÖSTERS (51)) des Scheibenschnitts, der einen grossen Fortschritt in der Kavitätenpräparation gebracht hat, gehört auch jener der gleichmässigeren und sichereren Verteilungsmöglichkeit des Befestigungszementes.
Der cervikale Federrand auf der Seite der Kastenpräparation nach Black kann mit Zement nicht bedeckt sein, wenn die Stufe schon keinen Zement aufweist. Am cervikalen Rand schneidet auch der Scheibenschnitt relativ schlecht ab. Seine Zementschicht wird erst ausreichend, wenn das Inlay selbst am cervikalen Innenrand bestrichen, bzw. wenn die beiden Approximalflächen der Kavität mit Zement beschickt werden (3. und 5. Versuchsreihe).
Als letzte kritischen Punkte sind noch die vier okklusal-approximalen Übergänge der Kavität zu nennen (auf Abb.1 als g und h bezeichnet). Sie mussten sogar stärker abgerundet werden, damit auch hier der Raum zwischen Zahn und Füllung mit Zement ausgefüllt werden konnte.

III. DISKUSSION DER VERSUCHSSERIE A UND FORDERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Bei dem Versuch, meine Versuchsergebnisse mit denen anderer Autoren zu vergleichen, musste ich feststellen, dass - nach dem Umfang der auffindbaren Literatur zu urteilen - die Bedeutung der Technik, die beim Bestreichen mit Zement befolgt werden muss, allgemein unterschätzt wird. Dies stellte GATES (11) schon 1928 fest und bemerkte, dass es gar nicht möglich wäre, diesen Abschnitt der Inlaytechnik zu überschätzen.

Ist es überhaupt notwendig, dass der Zement jeden kleinsten Spalt zwischen Kavität und Inlay ausfüllt?

Die schlechte Wärmeleitfähigkeit eines trockenen Phosphatzementes ist unbestritten. COST (4) hat es durch Versuche nachgewiesen. SCHUG-KÖSTERS (51) und ILG (26) betonen in diesem Zusammenhang, wie wichtig eine ausreichende Isolationsschicht unter einem Inlay ist, um thermische Reize vom pulpennahen Dentin abzuhalten. Eine normale Unterfüllung ist allerdings nicht in der Lage alle angeschnittenen Dentinkanälchen abzudecken. Der Befestigungszement jedoch kann diese Lücken der Isolation ausfüllen, vorausgesetzt, es bestand die Möglichkeit einer sorgfältigen Zementverteilung.
Die Ursache für das Haften des Phosphatzements wird entweder in einer "mechanischen Verzahnung" (KULKA (33), DRUM (7), FALCK (8), WEIKART (57), KUNERT (34), HATTEMER (20), GUTSCHE (15)) oder in einer Adhäsion des Phosphatzements zur Unterlage (REBEL (48)) gesehen. GUTSCHE z.B. führt an Hand von Versuchen aus, dass viele kleine Unebenheiten, wie sie von feinkörnigen Schleifmitteln erzeugt werden, eine grössere Haftintensität hervorbringen als eine rauhe Oberflächenbeschaffenheit. In jedem Fall jedoch - ob "Adhäsion" oder "Verzahnung" - ist die Grösse der Haftintensität abhängig von der Summe der Grössen der Flächen, an denen der Zement haftet. Ein Grund mehr, beim Einzementieren von Inlays alle zur Verfügung stehenden Flächen für die Haftfähigkeit heranzuziehen.
Der Spalt zwischen Kavität und Inlay beträgt bei einem Präzisionsguss etwa 15 bis 30 µm (WEIKART (57), FUSAYAMA (10), ILG (26), GATZKA und HARNISCH (zit. n. WEIKART)); er bewegt sich also in Grössen, die - wären der Spalt und der Rand des Inlays nicht mit Zement ausgefüllt - es zulassen würden, dass Speichelteile und Bakterien unter das Inlay eindringen könnten. HEUSER (23), der den Randschluss von Inlays vor und nach dem Einzementieren untersuchte, berichtet, dass sich durch das Ausfüllen des Spaltes mit Zement ein "günstigeres Relief der Randzone" einstellt. Dieses Relief darf auch nicht mehr nachträglich durch ein zu frühes Absprengen des Zementüberschusses beschädigt werden; letzteres konnte ich durchaus während meiner Versuche beobachten.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass eine vollständige Zementschicht unter der Gussfüllung drei Aufgaben zu erfüllen hat; nämlich die Wärme- und Kälteisolation zu unterstützen, die Haftfähigkeit zu vergrössern und vor allem einen einwandfreien Randschluss herzustellen, damit eine Sekundärkaries ausgeschlossen werden kann.

Zur Diskussion der Versuchsmethodik ist zu sagen, dass diese klar und einfach ist und deshalb auch reproduzierbar. Die Reproduzierbarkeit nämlich wird von allen Methodikern der betreffenden Literatur mit Recht gefordert (PAFFENBARGER (41), DRUM (7), RAWITZER (47), DIECK (5) u.a.). Eine Einzelmessung nämlich kann nur ein wissenschaftliches Gesamtgebiet bereichern, wenn sie zu anderen Untersuchungen in eine gewisse Beziehung gebracht werden kann.
Modellzahn mit Kavität und Inlay waren aus durchsichtigem Material hergestellt; das Inlay konnte nach dem Erhärten des Zements wieder - wenn auch nur schwer - von der Kavität getrennt werden, ohne den erhärteten Befestigungszement zu zerstören. Diese beiden Voraussetzungen bildeten die Grundlage für folgende Untersuchungen:

1. Welchen Weg nimmt der flüssige Zement nach aussen?
2. Welche Regionen zwischen Zahn und Inlay bleiben letztlich von Zement unbedeckt?

Dabei besteht der Einwurf zu Recht, dass das Kunststoffmaterial und die Vaseline die natürlichen Gegebenheiten verändern, die eigentlich vom Gold, erhärteten Unterfüllungszement und natürlicher Zahnsubstanz dargestellt werden. Der zähflüssige Zement wird an verschieden gearteten Unterlagen verschiedenartig haften und fliessen.
Zunächst muss festgestellt werden, dass die Vaselineschicht auf Inlay- und Kavitätflächen nach kurzer Einwirkzeit mit einem trockenen Tuch wieder abgewischt wurde, so dass man den übriggebliebenen "Hauch" als äusserst geringspurig bezeichnen kann. Es wäre auch gar nicht durchführbar, den Versuch unter den gleichen Verhältnissen herzustellen wie sie im Munde herrschen. RAWITZER (47) sagt dazu, "dass man von den Mundverhältnissen beliebig abweichen darf, wenn man imstande ist, sich Rechenschaft zu geben, in welcher Weise dadurch die Resultate beeinflusst werden". In meinem Falle bedeutet das, dass sich der Zement an der etwas glatteren Kunststoffoberfläche besser verteilen konnte als das wahrscheinlich an der rauheren Zahnsubstanz und Goldinlayfläche der Fall gewesen wäre; kurz gesagt, die Ergebnisse wären im natürlichen Milieu eher schlechter ausgefallen. Zu bedenken ist ferner, dass in der ausgetrockneten Kavität im Munde eine Temperatur von ca. 36°C herrscht, die den Erhärtungsvorgang beschleunigt und das Fliessvermögen des Zementes herabsetzt. Wenn innerhalb einer Versuchsserie die gleichen Bedingungen beibehalten werden können, und das war in Versuchsserie A der Fall, ist die Annahme erlaubt, dass auch die Ergebnisse zueinander in Beziehung zu setzen sind.
WEIKART (57) bemerkt, dass bei Präzisionsinlays Zementschichten bis zu

10 µm verblieben, die bei oberflächlicher Betrachtung nicht ohne weiteres erkennbar wären. Es mag sein, dass Zementschichten dieser geringen Grössenordnung in meinen Ergebnissen nicht enthalten sind. Immerhin brachten pro Versuchsreihe 20 Versuche -mit zwei verschiedenen Mischungsverhältnissen (aber, wie sich herausstellte, gleicher Fliessfähigkeit) und mit zwei verschieden gestalteten Modellen- fast durchweg gleiche Ergebnisse. JÖRGENSEN (27) u.a. allerdings haben herausgefunden, dass auch die Länge, die Gestalt der Kavität und das konische Zulaufen der Wände eine gewisse Rolle beim Einzementieren spielen.

Beim Auswerten der Versuchsergebnisse selbst fällt ganz allgemein auf,dass an allen Axialwänden von Inlay bzw. Kavität sich weniger Zement fand. Diese Tatsache kann einerseits mit den unterschiedlichen Quer- und Längskontraktionen des Inlays während seiner Herstellung zusammenhängen analog den Untersuchungen von FUSAYAMA (10), der bei MOD-Inlays und Vollgusskronen die dünnste Zementschicht an den Axialflächen mass. In meinem Fall wird es vielmehr eine Folge des Einzementiervorganges sein, weil ich statt Gold Kunststoff verwendet habe. An den axialen Führungsflächen nämlich wird während der Zeit des eigentlichen Einzementierens der Zement fortwährend wie zwischen zwei Platten "zerrieben", so dass dieser wahrscheinlich in stärkerem Masse verdrängt wird als das z.B. auf der okklusalen Fläche der Fall ist.
Es wurde deutlich beobachtet, dass der überschüssige Zement beim Abfliessen immer den kürzesten und leichtesten Weg nach aussen suchte. Das Ergebnis an den cervicalen Rändern (Tab.1), Gebieten die vom Zentrum am weitesten entfernt sind, entspricht dieser Feststellung.

Die Versuchsergebnisse führen zu folgenden Forderungen für die Praxis:

1. Die Verteilung des Zementes beim Einzementieren hängt in hohem Masse von der Viskosität, die wiederum von dem Pulver-Flüssigkeitsverhältnis und der Anrührtechnik ab. Ein Zement mit geringerer Viskosität verteilt sich leichter und besser als einer mit grösserer Zähigkeit. Daraus folgt für die Praxis, dass nur ein Zement mit genügender Fliessfähigkeit verwendet werden darf. Um dennoch ein optimal schweres Mischungsverhältnis zu erreichen, ist die Verwendung einer Thermoanrührplatte mit Wasser von 14 bis 16°C zu empfehlen.
2. Sowohl Kavität als auch Inlay müssen mit Zement bestrichen werden. Selbst wenn alle Inlayflächen sorgfältigst von Zement bedeckt worden sind, genügt das noch nicht für eine solide Zementverteilung unter dem Inlay (s.a. GATES (11), MERK (zit. n. SCHUG-KÖSTERS (51)).
3. Nur eine stärkere Abrundung der okklusal-approximalen Kanten lässt auch hier einen Zementfilm entstehen. Dies fördert gleichzeitig die Passgenauigkeit des Inlays (SCHUG-KÖSTERS (51)).
4. Die Scheibenschnittpräparation mit kleinem Kasten ist im Hinblick auf die Zementverteilung der Kastenpräparation nach Black vorzuziehen.

5. Die cervicalen Ränder - der kritische Punkt einer jeden Füllung - lassen sich weit schwerer von Zement bedecken als allgemein angenommen wird. Die Approximalflächen der Kavität müssen mit genügend Zement beschickt werden, damit der cervicale Zementrandschluss vollständig wird.
6. Die Grösse des beim Einzementieren angewandten Druckes ist für eine befriedigende Zementverteilung von untergeordneter Bedeutung. Letztere wird allerdings durch langsames Einsetzen und Auspressen des Überschusses in hohem Masse gefördert. Der Vorgang sollte nicht weniger als 2 Sekunden dauern.
7. Der überschüssige Zement darf vor dem völligen Erhärten, was im Munde etwa 10 Minuten dauert, nicht abgesprengt werden, da sonst zu leicht grössere Teile aus den Randbezirken des Inlays mit herausgerissen werden.

VERSUCHSSERIE B

Die nun folgende Untersuchung behandelt die sog. Auswalzbarkeit des Befestigungszementes, d.h., es soll gemessen werden, wie dünn ein Zement unter Druck ausgewalzt werden kann, ohne dass sich zementfreie Partien bzw. "Blasen" bilden.

I. ANGEWANDTE PRÜFMETHODE

Es wurden im ganzen 30 Zementproben hergestellt, die wiederum in noch flüssigem Zustand zur Prüfung kamen.
Die angewandten Konsistenzen unterschieden sich durch das Mischungsverhältnis bzw. die Plattentemperatur:

1. Versuchsreihe: 10 Proben mit Standardkonsistenz (= Herstellerkonsistenz), auf einer Thermoplatte von 14 bis 16°C angerührt.
2. Versuchsreihe: 10 Proben mit Standardkonsistenz, auf normaler Anrührplatte hergestellt.
3. Versuchsreihe: 10 Proben mit der dünneren Konsistenz von 0,81 g Pulver und 0,27 ccm Flüssigkeit wurden auf einer normalen Anrührplatte angespatelt.

Je ein Versuch pro Versuchsreihe wurde am gleichen Tag hergestellt und

untersucht. Im übrigen hielt ich mich an die allgemeinen Prüfungsbedingungen von Seite16.
Der flüssige Zementbrei wurde jeweils auf der Schmalseite einer 7,6 x 2,6 cm grossen Glasplatte abgestrichen. Gleich darauf wurde an eben dieser Seite eine gleich grosse Glasplatte an- und aufgelegt und der Zement zwischen den Platten mit Hilfe einer Zwinge so zusammengedrückt, dass sich die beiden Glasplatten in der Zwinge mit der Schmalseite berührten und einen sehr spitzen Winkel bildeten. In diesem Winkel wurde der Zement unter dem Druck der Zwinge veranlasst einen Film zu bilden, der eine Dicke aufweisen musste, die theoretisch gegen 0 ging. Nach 15 Minuten Erhärten wurden die beiden zusammengekitteten Glasplatten aus der Zwinge gelöst, unter das Mikroskop gelegt und mit dem Okularmikrometer bei 150facher Vergrösserung gemessen.

Die einfache Apparatur sah im Längsschnitt folgendermassen aus:

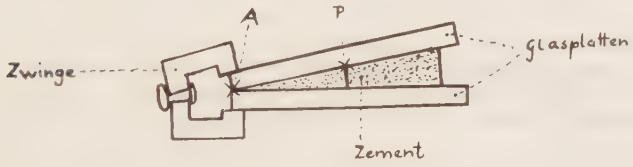


ABBILDUNG 2

Längsschnitt durch die Versuchsapparatur.

Wurde z,B. bei Aufsicht auf die Fläche der Zementfahne (s. unten Abb.4) festgestellt, dass plötzlich von einer bestimmten Stelle an (= Punkt P) in Richtung A (wo sich die Schmalseiten der Platten berühren) die Fahne Blasenbildung bzw. zementfreie Partien aufwies, so wurde dieser Punkt P markiert und die Dicke (d) des Zementfilmes an dieser Stelle nach folgender Formel ausgerechnet:

$$d \text{ (Zementdicke)} = \frac{c \cdot x}{a}$$

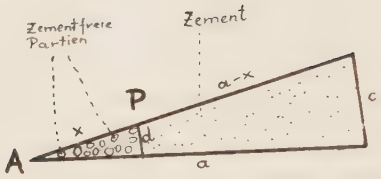


ABBILDUNG 3

Formel zur Berechnung der Zementfilmdicke

c = der Innenabstand der freien Enden der zusammengekitteten Platten
a = Länge der Glasplatten
x = senkrechter Abstand von P zum Plattenrand, ergibt hier Punkt A
d = gesuchte Dicke des Zementfilmes am Punkt P

Die Länge a war immer bekannt, c und x wurden, da es sehr kleine Grössen waren, jeweils mit dem Okularmikrometer ausgemessen, d konnte dann nach obiger Formel errechnet werden.

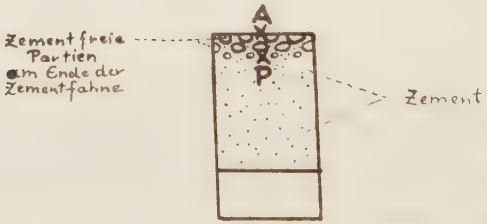


ABBILDUNG 4

zeigt den Blick von oben durch die Glasplatte auf die Zementschicht

II. VERSUCHSERGEBNISSE

Die zahlenmässigen Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Im einzelnen resultiert aus vorliegenden Versuchsreihen Folgendes:

1. Der Zementfilm ist durchschnittlich von 15 bis 33 µm abwärts nicht mehr einwandfrei, d.h. er ist von zementfreien Partien bzw. Blasen durchsetzt.
2. Der beim Zusammenpressen des Zementbreies anzuwendende Druck ist abhängig von der Viskosität des zu prüfenden Materials: Er war in Versuchsreihe 2 grösser als bei Versuchsreihe 1, bei Versuchsreihe 1 grösser als bei Versuchsreihe 3.
3. Die relativ grosse Schwankungsbreite der Werte beweist, dass:
   a) sehr wohl auch einwandfreie Zementfahnen von unter 15 µm gebildet werden können
   b) das Ende der Zementfahne dazu neigt, zementfreie Partien einzuschliessen.
4. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich in der Zementfahne Lufteinschlüsse festhängen, ist der Viskosität des Zementes umgekehrt proportional, das heisst: Je grösser die Viskosität des Zementes, umso kleiner die Wahrscheinlichkeit von Lufteinschlüssen. Deshalb finden wir die meisten Lufteinschlüsse bei Versuchsreihe 3 mit der dünnsten Konsistenz. (Die hohen Werte veranschaulichen in Zahlen, was unter dem Mikroskop direkt gesehen werden konnte, nämlich die Ansammlung von Lufteinschlüssen.)
5. Einflüsse der Raumtemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wurden in den auf Tab. 2 angegebenen Bereichen nicht festgestellt.
6. Einzelne Luftblasen konnten überall in der Zementschicht gefunden werden. Sie sind nicht zu verwechseln mit den relativ starken Ansammlungen von freien Zementpartien, die sich immer nur am dünnsten Ende der Zementfahne konzentrierten.
7. Mein verwendetes Material brachte bei Standardkonsistenz, auf einer Thermoanrührplatte von 14 bis 16°C angerührt, die zum Einzementieren brauchbarste, blasenfreie Zementfilmdicke von durchschnittlich 20 µm.

			1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe	3. Versuchsreihe
	Raumtemperatur in Grad Celsius	Relative Luftfeuchtigkeit in %	0,9 g Pulver / 0,25 ccm Flüssigkeit, auf Thermoanrührplatte von 14-16°C: brauchbare Viskosität /um (= Mikron)	0,9 g Pulver / 0,25 ccm Flüssigkeit auf normaler Glasplatte angerührt: zu grosse Viskosität /um (= Mikron)	0,81 g Pulver / 0,27 ccm Flüssigkeit, auf normaler Glasplatte angerührt: brauchbare Viskosität /um (= Mikron)
1.	21,5	65	15	12	28
2.	21	65	22	13	39
3.	22	67	16	18	38
4.	19,5	65	24	17	17
5.	20	65	25	13	16
6.	21	67	16	13	38
7.	21	67	21	15	29
8.	21,5	67	24	17	46
9.	21	65	16	18	47
10.	20	66	20	15	31
		Durchschnitt:	199 20	151 15	329 33

TABELLE 2

Dünnste blasenfreie Zementfilmdicke in Abhängigkeit vom verwendeten Mischungsverhältnis und der Temperatur der Anrührplatte

III. DISKUSSION DER VERSUCHSSERIE B

A) Methodik

Die American Dental Association (ADA) (1) hat eine international anerkannte, einfache Prüfungsmethode auch für Phosphatzement entwickelt. Die Spezifikation für die Prüfung der Zementdicke schreibt vor:

> "Eine Portion mit Standardkonsistenz soll zwischen zwei flache, viereckige oder runde Platten von gleichmässiger Dicke gebracht werden. Die Oberfläche der Platten, zwischen welchen der Zement ausgebreitet wird, soll ungefähr 2 qcm betragen. 3 Minuten, nachdem das Anrühren begonnen hat, soll ein Gewicht von 15 kg senkrecht oben auf die Platte gelegt werden. 10 Minuten nach dem Anrührbeginn wird die Zementschicht zwischen den beiden Glasplatten bestimmt. ... Die Filmdicke soll nicht mehr als 40 µm (Mikron) betragen."

Die ADA hat es sich damit zur Aufgabe gemacht, Vergleichswerte der einzelnen Marken aufzustellen in dem Bewusstsein, dass dünnere Filme das einwandfreie Einzementieren von Inlays besser garantieren. Im Laufe der letzten Zeit hat sich durch Versuche (NORMAN (39), WEIKART (57)) herausgestellt, dass dank der fortschrittlichen industriellen Entwicklung heute eigentlich keine Phosphatzemente mehr existieren, die das Maximum von 40 µm Filmdicke überschreiten. Deshalb liegt heute das Problem auch darin, die Besonderheiten des Films, wie z.B. Lufteinschlüsse, die die Qualität des Zementfilmes wesentlich beeinträchtigen, genauer zu erfassen.

Die Lösung dieser Aufgabe wurde durch eine Idee von KETTERL in Bezug auf die Prüfungsmethode wesentlich vereinfacht. Der Zement nämlich wurde in einem sehr spitzen Winkel zwischen 2 Glasplatten ausgebreitet, so dass alle möglichen Dickenwerte eines Zementfilmes von theoretisch 0-1000 µm an einem einzigen Versuchsobjekt hergestellt und untersucht werden konnten. Ausserdem musste die von der ADA geforderte Druckanwendung von 15 kg pro qcm durch eine variable Grösse ersetzt werden, um auch von dickeren Konsistenzen Filme herstellen zu können. Eine längere Belastungszeit von 15 statt 10 Minuten wurde deshalb eingeführt, um bezüglich der Erhärtung ganz sicher zu gehen, zumal da sich eine Erhärtung bei Raumtemperatur langsamer als bei Mundtemperatur vollzieht. Im übrigen hielt ich mich an die Vorschriften der ADA.

Bezüglich der angewandten Versuchsanordnung bleibt also wesentlich,

1. dass nur zweckgebundene Änderungen der Spezifikations-Methodik vorgenommen wurden,
2. dass die Versuchsanordnung einfach und die Reproduzierbarkeit gewährleistet war.

B) Zahlenmässige Ergebnisse

Meine Versuchsreihen ergaben, dass ein einwandfreier Zementfilm im Minimum 15-33 µm dick sein kann.
Andere Autoren wie PAFFENBARGER (41) haben schon 1933 mit den damals qualitativ noch schlechteren Zementen u.a. auch ähnliche Werte für eine mögliche Zementfilmdicke bekommen. Er wie NORMAN u.a. (39) haben im Grunde beide die Prüfungsvorschriften der American Dental Association berücksichtigt, dennoch haben NORMAN u.a. 1963 Filmdicken von nur 4-9 µm gemessen.
Einige Autoren (WEIKART (57), ILG (26), PORSCHE (45)) fordern mit Nachdruck, die Zementschicht als gegebene Dimension von ca. 25 µm (Mikron) in die Kalkulationen der indirekten Gusstechnik mit einzubeziehen. Das bedeutet, dass sie aus bestimmten (später noch zu erläuternden) Gründen eingesehen haben, dass zumindest unter Gussobjekten am Patienten keine dünneren Zementschichten herzustellen sind. PORSCHE (45) wendet z.B. einen wie er selbst sagt "klinisch kaum zu erreichenden Druck" von 42 kg/qcm an und erhält doch nur eine Filmdicke von durchschnittlich 20 µm zwischen Guss und Kavität. Wenn man also die Ergebnisse der bisherigen Filmdickenmessungen zusammenfasst, so handelt es sich, sei es zwischen 2 Platten, sei es zwischen Inlay und Kavität, um eine Schwankungsbreite von 4-35 µm. Diese relativ hohen Wertunterschiede beruhen auf einer Vielzahl von Faktoren, die das Verhalten des flüssigen Zements ganz wesentlich beeinflussen, und die ich in dieser Diskussion mit ihrer Problematik skizzieren möchte:

C) Blasenbildung

Die Feststellung, bei welcher maximalen Filmdicke noch starke Blasenansammlungen bzw. andere zementfreie Partien auftreten, war das wesentliche Kriterium für meine Messungen. Schon deshalb sind meine Ergebnisse nicht direkt mit denen der anderen Autoren vergleichbar. Es braucht nicht extra darauf hingewiesen zu werden, dass ein Zementfilm, stark durchsetzt von Lufteinschlüssen, als Verbindungsmittel zwischen Zahn und Gussobjekt unbrauchbar ist (Vergl. auch Versuchsserie A).

Alle anderen Autoren erwähnen allerdings nichts von diesen einmal mehr, einmal weniger bzw. nicht vorhandenen Luftansammlungen am Ende der dünn auslaufenden Zementfahne, obwohl sie teilweise sogar viel dünnere Filme (NORMAN bis zu 4 µm) als ich gemessen haben.
Der Grund dafür liegt entweder darin, dass ihre Versuchsanordnung ihnen nicht die Möglichkeit bot, den Film direkt unter dem Mikroskop zu untersuchen (vielleicht benützten sie keine durchsichtigen Platten), oder es liegt an meiner Versuchsmethode, dass sich nämlich die beiden Platten

während des Zusammenpressens im spitzen Winkel berührten, und somit der Weg, den die Luftblasen am leichtesten nach aussen genommen hätten, versperrt blieb. Beim Anrühren des Zements und Einzementieren werden ja immer kleinste Luftteilchen mit eingeschlossen. Die Zementmasse aber muss es mit eigener Kraft und mit Hilfe des aufgesetzten Druckes schaffen, zumindest relativ grössere Ansammlungen von Luftpartikeln wieder nach aussen zu befördern. Dies gelingt anscheinend nicht in Richtung eines spitz zulaufenden Winkels, wie meine Versuche besonders bei leichter Konsistenz bewiesen haben, und wie es sich während des Vorganges des Einzementierens am Rande von zu eng sitzenden Inlays in der Praxis abspielen mag.

Die Häufigkeit, mit der die Blasenbildung bei den beiden dickeren Konsistenzen (1 und 2) auftrat, war wesentlich geringer als bei dem dünneren Mischungsverhältnis. Das häufige Auftreten von hohen Werten in Versuchsreihe 3 beweist dies. In diesem Zusammenhang erwähnt KETTERL (28), dass die Gefahr des Einschlusses von Luftblasen im Zement ganz allgemein grösser sei, je dünnflüssiger der Phosphatzement verwendet werde. Nach dem, was ich im Mikroskop in den Zementproben gesehen habe, kann ich annehmen, dass dies für den Zementfilm in noch höherem Masse zutrifft.

Ich nehme an, dass erwähnte zumentfreie Partien mit der Entdeckung von JÖRGENSEN (27) in Zusammenhang stehen. Dieser konnte unter dem Mikroskop feststellen, dass sich frisch angerührter Zement zwischen zwei zusammengedrückten Platten bei Filmdicken von ca. 20 µm in zwei Phasen aufteilt, nämlich in kleinste Pulverklümpchen und reine Phosphorsäurelösung. JÖRGENSEN erklärt sich dieses Phänomen damit, dass einzelne Pulverteilchen, die ja immer im angerührten Zement zurückbleiben, dem aufgesetzten Druck nicht mehr in peripherer Richtung ausweichen können, sobald beim Zusammenpressen der Platten die Zementfilmdicke die Durchmessergrösse dieser Pulverklümpchen erreicht hat. Da nun aber weiterhin Zementbrei nach aussen drängt, wirken die zwischen den beiden Platten festgeklemmten Pulverteilchen dieser Fliessbewegung entgegen. Dabei haben diese Teilchen die Funktion eines Filters, indem sie nämlich die Pulverteilchen des ankommenden Zementbreies aufnehmen und nur die Flüssigkeit durchtreten lassen. Letztere hinterlässt, wie JÖRGENSEN unter dem Mikroskop beobachtet hat, einen deutlichen pulverfreien Hof. Da er nun experimentell auch noch feststellen konnte, dass erhöhter Druck, verlängerte Druckanwendung (bis zu 1 Minute), erhöhte Viskosität des Zementes und spitz zulaufende Winkel zwischen Krone und Präparation die Filtration verstärken, ist die Annahme erlaubt, dass die von mir in dem sehr spitzen Winkel der beiden Glasplatten beobachteten unter relativ hohem Druck hergestellten zementfreien Partien evtl. teilweise oder vollkommen mit Phosphorsäurelösung bedeckt waren. Auch die Grösse der Filmdicke, bei der ich Blasenbildung feststellte, entspricht in etwa den Angaben JÖRGENSENS.

Ob man eine Differenz von 5 µm zwischen den noch brauchbaren Zementfilmdicken von Versuchsreihe 1 und 2 schon als wesentlich bezeichnen kann, möchte ich bezweifeln. Eines aber zeigt die Versuchsreihe 2 deutlich, nämlich, dass dieser relativ hart angerührte Zement, der seinem Fliessvermögen nach nicht mehr zum Einzementieren brauchbar wäre, im Hinblick auf die Blasen- und Filmbildung sehr gut abschneidet. Man ist aber nicht gezwungen, auf die Qualität dieser Konsistenz zu verzichten, indem man mit Hilfe einer Thermoanrührplatte von 14 bis 16°C das gleiche Mischungsverhältnis und dennoch einen flüssigeren Zementbrei verwenden kann. Letzterer bringt ein ebenso gutes Ergebnis, wie Versuchsreihe 1 zeigt.

D) Korngrösse

Wie schon in der Literatur erwähnt wurde, beeinflusst die Korngrösse des Zementpulvers die entstehende Filmdicke, indem kleinere Partikelgrössen unter sonst gleichen Umständen dünnere Zementfilme bilden.

E) Angewandter Druck

Ein dritter Faktor, der das Entstehen der Zementfilmdicke wieder auf andere Weise mitgestaltet, ist der Druck, der zum Ausbreiten des Zementbreies verwendet wird. Seine Grösse war ähnlich wie beim Einsetzen einer Gussfüllung in meinen Versuchen veränderlich. Es wurde festgestellt, dass bei der grossen Zementzähigkeit der Konsistenz in Versuchsreihe 2 ein wesentlich grösserer Druck aufgebracht werden musste, als das bei den beiden flüssigeren Zementen (1. und 3. Versuchsreihe) der Fall war. Der zur Herstellung einer sehr dünnen Zementfahne nötige Druck war nicht bei jedem Versuch erreichbar, und der Versuch musste wiederholt werden. Ähnliche Erfahrungen auch mit normalflüssigem Befestigungszement entsprechen den Dimensionsforderungen einiger Autoren von einem 25 µm dicken freien Spalt zwischen Inlay und Kavität (WEIKART (57) u.a.). In diesem Zusammenhang ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass ein Druck von 42 kg/qcm (PORSCHE (45)) am Patienten kaum mehr ausführbar ist. Der Autor teilt jedoch gleichzeitig mit, dass für das Erreichen einer Zementdicke von 20 µm dieser Druck nötig wäre.
Die schon erwähnten Autoren NORMAN, SWARTZ und PHILLIPS (39) erklären ihre niedrigen Zementfilmwerte (4-9 µm) mit der Anwendung kleinerer Platten als sie PAFFENBARGER (41) benutzt haben soll. Damit wurde das Druckverhältnis (Belastung/Flächeneinheit) bei der gleichblei-

benden Belastung von 15 kg grösser, der Film niedriger. In einer weiteren Arbeit wäre es interessant zu erfahren, wie gross der Druck ist, der bei sonst gleichbleibenden Bedingungen eine ganz bestimmte Zementdicke herstellt (JÖRGENSEN (27)).
JÖRGENSEN (27) stellt experimentell nicht nur eine Abhängigkeit vom Druck selbst, sondern auch von seiner Dauer fest. Seine Ergebnisse zeigen deutlich, dass mit grösserem Druck und mit längerer Anwendungsdauer der Zementfilm abnimmt. (Bei 10 kg Druck erreicht er einen Film von 22,5 µm, bei 0,5 kg aber einen von 47 µm Dicke.)

F) Widerstand

Die Entstehung des Zementfilmes wie auch die Zementverteilung überhaupt (Versuchsserie A) werden ganz wesentlich geprägt vom Widerstand, der dieser Zementausbreitung entgegenwirkt.

a) Die Viskosität oder Zähigkeit eines Zementes beruht darauf, dass eine schnellere Schicht (= Zement) eine benachbarte langsamere (= Inlay oder Zahnsubstanz während des Einzementieren) zu beschleunigen, diese dagegen jene zu verlangsamen sucht (WESTPHAL (58)). Sie wird durch die Stoffkonstante η dargestellt.
Exakte Messungen der Viskosität bzw. der Fliessfähigkeit sind bisher nur an anderen zähflüssigen Körpern vorgenommen worden (von OBERMAYER (40)), z.B. an Schwarzpech. Derartige Messungen stossen nach HOFFMANN (25) und JÖRGENSEN (27) beim flüssigen Zement auf erhebliche Schwierigkeiten, da sich die Fliessfähigkeit ständig verändert und das Fliessen ganz aufhört, bevor die Messung nach den herkömmlichen Methoden beendet werden kann. Zahlenmässige Angaben über die Fliessfähigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt könnten überhaupt nur mit Hilfe der Differentialrechnung erhalten werden.
JÖRGENSEN (27) konnte an Hand von Versuchen ermitteln, dass ein schwereres Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit dickere Zementfilme ergibt als eine leichtere Mischung. Auch er bereitete die Standardkonsistenz gleichzeitig mit einer Anrührtemperatur von 12°C und erhielt damit wesentlich dünnere Zementfahnen, sowie exakteren Sitz der aufzementierten Kronen.

b) Wenn man den Spalt zwischen Kavität und Inlay sehr vereinfacht als eine schmale Röhre (Kapillare) betrachtet, durch die beim Einzementieren der zähflüssige Zement gepresst wird, so kann man für die am Inlayrand austretende Zementmenge (V) das Hagen-Poiseuillesche Gesetz geltend machen:

$$V = \frac{\pi \cdot r^2}{8\eta} \cdot \frac{p - p'}{1} \cdot t$$

r = Radius der Röhre, in unserem Falle X-mal die halbe Spaltbreite zwischen Inlay und Kavität,
p = der Druck, mit dem Inlay bzw. Platte auf den Zement gedrückt werden,
p' = der Druck, den der Zement beim Austreten aus dem Spalt zu überwinden hat,
t = die Zeiteinheit, während der der überschüssige Zement am Rande überquillt,
η = Viskosität des Zementes,
l = Länge zwischen Anfang der Zementbewegung und Austritt am Füllungsrand.

Natürlich sind nicht alle das Ergebnis der Zementbereitung beeinflussenden Faktoren in diesem Gesetz erfasst, so nicht die besondere Klebrigkeit des Zementes an der Unterlage, seine sich fortwährend erhöhende Viskosität und die sich im Laufe des Vorgangs ändernde Fliessrichtung. Dennoch hebt dieses Gesetz alle massgeblichen Faktoren in einen funktionellen Zusammenhang. Dies soll die Ableitung zweier Beispiele obengenannter experimenteller Beobachtungen zeigen:
Je grösser z.B. der angewandte Druck (p) wird, desto mehr nimmt nach Hagen-Poiseuille die am Inlayrand austretende Menge (V) zu, d.h., dass damit der zurückbleibende Zementfilm kleiner wird. Oder, je kleiner beispielsweise der Spalt zwischen Zahn und Kavität (r) am Inlayrand ist, desto mehr nimmt V ab, das bedeutet, dass desto weniger Zement durchgepresst werden kann. Als Folge wird der verbleibende Zementfilm dikker. Da aber am Patienten im Gegensatz zum Modellversuch die Druckdifferenz p - p' ein bestimmtes Maximum nicht überschreiten kann, kann der Wertverlust an Spaltbreite (r) durch erhöhten Druck nicht ausgeglichen werden. Die Konsequenz nach obengenannter Formel lautet:
Je schmaler der Spalt am Inlayrand ist, desto höher wird die zurückbleibende Zementschicht.
JÖRGENSEN (27) perforierte deshalb vor dem Einzementieren okklusal seine Kronen und erreichte dadurch unter sonst gleichen Bedingungen eine bedeutende Verringerung der entstandenen Filmdicke. Der durch die Grösse des Spaltes gegebene Widerstand wurde dadurch verkleinert.

Auch FUSAYAMA (10) belegt diese gesetzliche Funktion mit Experimenten. Er teilt mit: "Die Zementdicke unter dem Gussobjekt war gewöhnlich grösser als die ursprüngliche Dicke des freien Raumes. Das Anwachsen war gering, wenn der ursprünglich freie Raum grösser als 30 µm war. Jedoch nahm die Dicke beachtlich zu, wenn der ursprünglich freie Raum weniger als 30 µm dick war."
Desgleichen stellt WEIKART (57) in Modellversuchen fest, dass ein Spalt zwischen Zahn und Inlay mindestens 30 µm betragen muss, damit ein Befestigungszement durch ihn durchgedrückt werden kann.

G) Zusammenfassung

aller für die Entstehung der Zementfilmdicke verantwortlichen Grössen:

1. Konsistenz
2. Anrührbedingungen (Technik, Raumtemperatur, Plattentemperatur)
3. Korngrösse
4. Blasenbildung
5. Art des Ausstreichens des Zementbreies
6. Art des Aufeinanderlegens der beiden Flächen, zwischen welchen der Zementbrei ausgepresst wird
7. angewandter Druck
8. Andauern des Druckes
9. freie Spaltbreite zwischen Inlay und Kavität
10. Klebrigkeit des Zementes auf der Unterlage
11. Gestalt der Kavität.

VERSUCHSSERIE C

Mit dieser Versuchsserie sollte geprüft werden, ob und in welchem Masse der Zementüberschuss am einzementierten Inlay das Eindringen von Speichel unter dasselbe verhindern kann.

I. ANGEWANDTE PRÜFMETHODE

Ein Palapont-Klarsichtmodell mit okklusal-approximaler Kavität und entsprechendem Inlay diente als Versuchsobjekt. Es war ca. 20 x 13 mm gross. Seine Approximalfläche, an der die Messungen stattfanden, war mit Scheibenschnitt und kleinem Blackschen Kasten (n. SCHUG-KÖSTERS (51)) präpariert. Die Passgenauigkeit des Inlays war klinisch als sehr gut zu bezeichnen, unter dem Messmikroskop betrug der Spalt zwischen Zahn und Inlayrand ca. 30 µm. Die Eindringtiefe des Speichels unter das Inlay wurde an zwei extra dafür gekennzeichneten Stellen (in Tab. 3 L und R) am unteren Drittel des Scheibenschnitts gemessen. Inlay und Kavität wurden jeweils vor dem Einzementieren an für das Versuchsergebnis unwesentlichen Stellen mit Vaseline isoliert. Keinesfalls durften Kavitäten- bzw. Inlayränder mit Vaseline in Kontakt kommen, da diese wahrscheinlich den eindringenden Speichel abgestossen hätte.

Die Eindringtiefe des Speichels in den cervical-approximalen Zementüberschuss wurde an zwei Stellen seines Querschnitts ausgemessen (Abb. 5), nämlich an der dem Zahn anliegenden Fläche (in Tab. 3 und Abb. 5 Querschnitt Z) und an der freien Wölbung (in Tab. 3 und Abb. 5 Querschnitt Q).

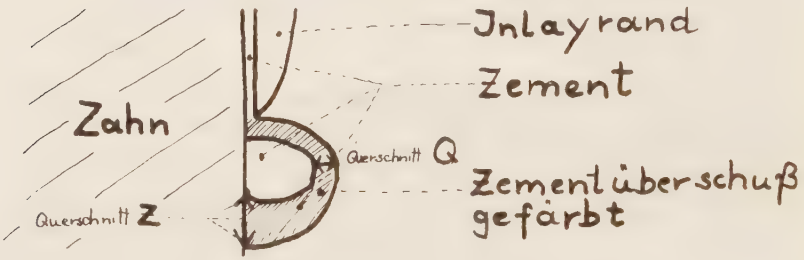


ABBILDUNG 5

Querschnitt durch den gefärbten Zementüberschuss am cervicalen Inlayrand

Der Zement wurde in den 8 Versuchsreihen (in Tab. 3 Nr. 1-8) in folgender praxisüblicher Konsistenz verwendet: 0,81 g Pulver und 0,27 ccm Flüssigkeit. Für Versuchsreihe 9 wurde die schwerere Standardkonsistenz benützt: 0,90 g Pulver und 0,25 ccm Flüssigkeit. Im übrigen wurden die allgemeinen Prüfungsbedingungen von Seite 16 beibehalten.

Für das jeweilige Speichelbad wurden 19,80 ml Mundflüssigkeit von derselben Person 1/2 Stunde nach dem Mittagessen gesammelt. Um das Eindringen des Speichels sichtbar zu machen, wurde er mit 0,20 ml Löfflers Methylenblaulösung, d.h. zu 1 % angefärbt. (Formel von Methylenblau: $C_6H_{18}N_3SCl$; Molekulargewicht: 319,85; TRAIL (54)).
Nach dem Einzementieren des Modell-Inlays wurde dieses konstant 15 Minuten lang mit 1 kg Gewicht belastet und unter Berücksichtigung von 9 verschiedenen Methoden (in Tab. 3 Nr. 1-9) in den angefärbten, gut durchmischten Speichel getaucht. Nach bestimmter Zeit wurde das Modell wieder herausgenommen, kurz abgewaschen und die Eindringtiefe des Speichels im Zementüberschuss bzw. unter dem Inlayrand notiert. Dazu wurde der Zementüberschuss abgesprengt und zu zwei kleinen Quer-

schnitten (Q und Z) zugeschnitten, während das Inlay sehr vorsichtig aus der Kavität gelöst wurde und an seinem inneren mit Zement bedeckten Inlayrand die Eindringtiefen des Speichels (L und R) untersucht wurden.
Die einzelnen Methoden, ihre Ergebnisse und Farbintensitäten sind auf Tab. 3 abzulesen. Jedes Einzelergebnis resultiert als Mittelwert von 5 Einzelmessungen. Insgesamt wurden 45 Versuchsproben hergestellt.

Gemessen wurde unter dem Mikroskop mit einem Okularmikrometer bei 150-facher Vergrösserung und einem Auflösungsbereich bis ca 30 µm.

II. PRÜFUNGSERGEBNISSE

1. Der Zementüberschuss verhütet immer, solange er belassen wird, das Eindringen von Speichel unter das Inlay. Voraussetzung ist ein Zementüberschuss von ca. 1 mm Durchmesser.
   (Versuchsreihen 1, 3, 5, 7)
2. Es konnte in allen 9 Versuchsreihen das Eindringen von Speichel in den Zement festgestellt werden. Die Eindringtiefe beträgt im Höchstfall 570 µm, im günstigsten Fall 60 µm.
3. Die Eindringtiefen unter dem Inlay sind gewöhnlich höher als unter gleichen Umständen im Zementüberschuss, wenn dieser belassen wurde.
   (Vergl. in Tab. 3 Versuchsreihen 1 und 2
   3 und 4
   5 und 6).
   Eine Ausnahme bildeten die Eindringtiefen im Querschnitt Z:
4. Die Eindringtiefe im Zementüberschuss ist dort weitaus und regelmässig am grössten, wo der Überschuss cervical am Zahn anliegt.
   (Querschnitt Z, Abb. 5)
   (Versuchsreihen 1, 3, 5, 7)
5. Je länger das zementierte Modell im Speichel liegt, desto mehr nehmen die Eindringtiefen zu:
   a) im Zementüberschuss:
      Versuchsreihe 7 (1 Std.): 60 µm Eindringtiefe
      Versuchsreihe 3 (24 Std.): 90 µm Eindringtiefe
      Versuchsreihe 5 (7 Tage): 150 µm Eindringtiefe
   b) unter dem Inlayrand:
      Versuchsreihe 8 (1 Std.): 150 µm Eindringtiefe
      Versuchsreihe 4 (24 Std.): 150 µm Eindringtiefe
      Versuchsreihe 6 (7 Tage): 360 µm Eindringtiefe

Versuchsmethode (-Reihe)	Eindringtiefe (in µm)				Farbintensität
	im Zementüberschuss (Abb.5)		unter das Inlay		
	am Zahn anliegend Z	in der Wölbung Q	L	R	
1. Mit Zementüberschuss sofort für 24 Std. in Speichel, dann Überschuss ab	360	300			Sehr intensiv blau gefärbt, besonder in den relativ häufig auftretenden Rissbildungen
2. Zementüberschuss sofort ab, dann 24 Std. in Speichel			570	480	Unregelmässig, aber stark blau gefärbt: Auf einen mittelblauen breiten Aussenstreifen folgt ein dunkelblauer von ca. 120 µm, darauf ein hellblauer von ca. 60 µm
3. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, dann 24 Std. in Speichel, danach Überschuss ab	210	90			aussen breite dunkelblaue Schicht dünner, hellblauer Streifen innen
4. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, dann Überschuss ab, dann 24 Std. in Speichel			150	150	nur ein ganz schmaler Rand nimmt die Färbung an, wird unregelmässig stark und schwach gefärbt
5. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, dann mit Überschuss 7 Tage in Speichel	420	150			sehr intensive Färbung mit hellblauem innerem Saum
6. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, dann Überschuss ab, dann 7 Tage in Speichel			360	300	sehr stark gefärbt, breiter hellblauer Innenrand
7. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, mit Überschuss 1 Std. in Speichel, danach Überschuss ab	150	60			schwache Färbung
8. Mit Zementüberschuss 15 Min. trocknen, mit Überschuss 1 Std. in Speichel, dann Überschuss ab, danach nochmals 7 Tage in Speichel			150	150	mittelblau gefärbt, nach innen zu wieder schmaler hellblauer Saum
9. Methode 4 wiederholt (s.o.) mit schwererer Konsistenz: 0,9 g Pulver / 0,25 ccm Flüssigkeit, auf Thermoplatte angerührt			60	60	gleichmässig mittelblau gefärbt

ABELLE 3

ndringen des Speichels in den Zementüberschuss bzw. in die Zementschicht unter dem Inlayrand in
hängigkeit vom Belassen des Überschusses unter verschiedenen (1-9) Versuchsbedingungen.

6. Es ist wesentlich, dass der Zementüberschuss die ersten 15 Minuten nach dem Einzementieren belassen wird (bei Raumtemperatur!),da in dieser Zeit am meisten Speichel in den Zement eindringen kann, und damit die Zementqualität am meisten leiden würde.
(Versuchsreihen 1, 2 verglichen mit Versuchsreihen 3, 4)
7. Je länger der Zementüberschuss nach dem Einzementieren beibehalten werden kann, desto weniger Speichel dringt letztlich unter das Inlay.
(Versuchsreihen 6 und 8)
8. Die grössten Eindringtiefen wurden jeweils dann gemessen, wenn der Zementüberschuss sofort nach dem Einzementieren, also noch in plastischem Zustand entfernt und gleichzeitig das Modell in die Farblösung getaucht wurde.
9. Wurden beim Entfernen des Zementüberschusses kleine Teile aus der Randzone des Inlays mit herausgerissen, so führte das in diesem Bereich zu einer intensiveren und tiefer reichenden Färbung des Zementes. Das gleiche konnte in der Umgebung von Blasen beobachtet werden.
(Beide Feststellungen treffen vor allem für Versuchsreihe 2 zu.)
10. Stark gefärbte Rissbildungen im Zementüberschuss wurden dann beobachtet wenn das Modell sofort nach dem Einzementieren mit Speichel in Berührung kam.
(Versuchsreihen 1 und 2)
11. In Vorversuchen wurde festgestellt, dass bei einem klinisch schlecht abschliessenden Inlay die Eindringtiefen von Speichel enorm höher liegen als bei einem klinisch perfekt passenden Objekt.
12. Ein praxisübliches Mischungsverhältnis von 0,81 g Pulver und 0,27 ccm Flüssigkeit ist wegen seiner grossen Porosität zum Einzementieren von Inlays wenig geeignet. Das Mischungsverhältnis der Gebrauchsanweisung (= Standardkonsistenz) lässt etwa nur halb soviel Eindringen des Speichels zu. Diese schwerere Mischung muss allerdings auf einer Thermoanrührplatte mit Wasser von 14-16°C angerührt werden, damit sie zum Einzementieren genügend flüssig ist.

III. DISKUSSION DER VERSUCHSSERIE C UND FOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

A) Methodik

Die Methodik, mit Farbstofflösungen die Porosität bzw. Kontraktion von Phosphatzement nachzuweisen, wird schon seit 1905 (MORGENSTERN (37)) mit Erfolg praktiziert. Unter den dabei verwendeten Farbstofflösungen ist Methylenblau die gebräuchlichste und nach TRAIL (54) eine der fünf geeignetsten für das Anfärben von Phosphatzement. Neu aber an meiner Versuchsserie ist, dass Phosphatzement nicht als Füllungsmaterial, sondern als Verbindungsmittel zwischen Inlay und Kavität gefärbt wurde.

Als färbendes Element wurde Mundflüssigkeit gewählt. Andere Autoren verwendeten meist nur wässrige Farblösungen (MORGENSTERN (37), KULKA (33) DIECK (5), VOLLAND und PAFFENBARGER (55), KLOEVEKORN (30), COST (4), VOLKMANN (56), GOLDER (13)). Dies scheint jedoch die natürlichen Gegebenheiten und ihre Konsequenzen zu sehr zu verändern. Als Beispiel mag folgender Vergleich dienen: Ein Löschblatt, das den porösen Zement darstellen soll, kann leichter Wasser als Speichel aufnehmen. Das liegt an der grösseren Viskositätskonstante des Speichels. Hierüber liegen von GROSSMANN (zit. n. TRAIL) und TRAIL und SAUSEN (54) experimentelle Beweise vor, so dass ich die natürliche Mundflüssigkeit für das gegebene Versuchsmilieu halte. HENSEL (21) betont die Bedeutung dieser Ansicht. Er fordert sogar weiter die Verwendung von Kavitäten und Füllungen an nicht natürlichen Zähnen, wie das in meiner Versuchsanordnung der Fall war. Einmal extrahiert würden nämlich natürliche Zähne unter dem Einfluss des Speichels zerfallen.

TRAIL (54) zog ebenfalls die Viskosität des Speichels mit in Betracht und verwendete deshalb eine selbst hergestellte Flüssigkeit aus Glycerin und anderen Komponenten. Diese Lösung besass die gleiche Viskositätskonstante wie Speichel. So vermied er die nachteiligen Nebenerscheinungen des Speichels, wie z.B. seine Zersetzung an der Luft. Diese konnte bei meinen Versuchen nie völlig ausgeschaltet werden, obwohl alle Proben spätestens nach einem Tag erneuert und nur bei Raumtemperatur aufbewahrt wurden, was die Zersetzung verlangsamt.

Bei Probeversuchen hatte sich herausgestellt, dass die Farbkonzentration der Lösung zwar die Intensität der Färbung, nicht aber die Eindringtiefe beeinflusst. Andere Autoren bestätigen diese Beobachtung (GROSSMANN (zit. n. TRAIL), TRAIL und SAUSEN (55)). So entschied ich mich für eine 1 %ige Methylenblau-Speichellösung, die die Eindringtiefe im Zement genügend stark markierte, jedoch die Speichelflüssigkeit noch nicht bedeutsam veränderte.

B) Ergebnisse

Das Ausmass des Eindringens von Speichel in den Zement beruht im wesentlichen auf dem Grad der Porosität des erhärteten Materials. Besonders starke Porosität konnte mit meinem Fabrikat nicht festgestellt werden, wohl aber war sie schon bei 40-facher Vergrösserung unter dem Mikroskop deutlich sichtbar. Wie schon im Kapitel Literatur ausgeführt wurde, haben alle Phosphatzemente den Nachteil, dass sie relativ stark porös sind. Ein Zement von grösserer Porosität besitzt eine rauhere Oberfläche und bewirkt leichteres Eindringen des Speichels. Damit bietet er bessere Angriffsmöglichkeiten für alle schädigenden Kräfte des Speichels.
Dass die primäre Abbindezeit des Zementes abgewartet werden muss, bevor der Zement mit Flüssigkeit in Berührung gebracht werden darf, ist aus Versuchen einer ganzen Reihe von Autoren schon bekannt (MORGENSTERN (37), KULKA (33), PAFFENBARGER (41), KETTERL (28), DIECK (5), HARNDT (18), GOLDER (13), LINKE (36), KIRSCH-SIEPER (29) u.a.). Bei Nichtbeachten dieser Vorsichtsmassregel wurden enorme Herabminderungen fast aller Qualitäten des Zementes beobachtet, darunter auch eine Zunahme der Porosität, vor allem in der Rindenschicht des Zementes (KETTERL (28), NEUKOMM (38)). GOLDER (13) hat im Gegensatz zu mir kein tieferes, wohl aber ebenfalls ein intensiveres Eindringen des Farbstoffes festgestellt, wenn man den Zement in noch plastischem Zustand in die Farbflüssigkeit eintaucht. Dieser Unterschied mag damit zu erklären sein, dass damalige Zemente (von 1930) verglichen mit heutigen während der primären Abbindung noch Gase entstehen liessen. Diese entwickelten, wie GOLDER selbst sagt, eine Art "Dampfdruck" und verhinderten somit ein weiteres Eindringen des Speichels. Untersuchungen frischen Zementbreies meines verwendeten Fabrikats ergaben unter dem Mikroskop keine sichtbare Gasbildung.
Die äussere Zementschicht ist nur dann porenärmer als die inneren Zementlagen, wenn sie im trockenen Milieu und ungestört abbinden konnte. Unter diesen Bedingungen erhärtete der Zementüberschuss in vorliegenden Versuchsreihen 3-9, so dass es verständlich wird, dass die Eindringtiefen hier jeweils geringer sind als bei den entsprechenden Versuchsreihen unter dem Inlay. Hier nämlich entsteht nach dem Entfernen des Überschusses eine porenreichere Abbruchstelle, die dann mit dem Speichel in Berührung kommt. Es konnte nun in meinen Versuchen deutlich geklärt werden, dass ein Zementüberschuss von nur ca. 1 mm Durchmesser selbst bei sofortigem Eintauchen in den Speichel, diesem das Eindringen unter das Inlay verwehren kann, solange er belassen wird. Voraussetzung dafür ist ein zusammenhängender Zementüberschuss, der den ganzen Inlayrand umfasst, und die Verwendung eines relativ dichten Materials. Da gleichzeitig aber in einem Zementüberschuss, der sofort nach dem Einzementieren mit Feuchtigkeit in Berührung kommt, grosse, mit freiem Auge schon sichtbare Rissbildungen entstehen (deren

schädliche Folgen in der Zementstruktur unter dem Inlay nicht absehbar sind), ist ein vorsätzliches Abwarten der primären Erhärtungszeit im Trockenen unbedingt geboten. Das Ergebnis ist dennoch von grosser Bedeutung, weil trotz peinlichster Sorgfalt beim Trockenlegen der Kavität unbeherrschbare Feuchtigkeit aus der interdentalen Tasche, vor allem bei tiefliegenden Approximal-Kavitäten an den noch plastischen Zementüberschuss herankommen kann.
Die Messung der Eindringtiefe selbst wurde bei 150-facher Lupenvergrösserung mit dem Okularmikrometer, also exakt quantitativ, vorgenommen. Bisher wurden die Eindringtiefen von Farblösungen in Phosphatzement meist nur qualitativ und relativ beschrieben (MORGENSTERN (37), KULKA (33), KLOEVEKORN (30), COST (4), VOLKMANN (56)). Manche dieser Autoren (so COST und VOLKMANN) sprechen von "nur Oberflächenfärbung" einiger von ihnen untersuchten Zementproben. Nach meinen Erfahrungen kann hier sehr leicht eine Täuschung vorliegen; brachten doch meine Ergebnisse z. B. der Versuchsreihe 9 nach Betrachtung mit blossem Auge auch nur eine sehr oberflächliche Färbung, was sich unter dem Mikroskop als eine Färbungsbreite von immerhin 60 µm herausstellte.

Im ungünstigsten Fall betrug meine Messbreite an die 600 µm, das ist ca. die Hälfte der Eindringtiefen, die GOLDER (13) (1,225 mm) und COST (4) (1 mm) und ein Drittel derer, die KULKA (33) (1,5 mm und mehr) seinerzeit gemessen haben. Letzterer allerdings hat Zemente aus dem Jahre 1905 untersucht, deren Qualitäten nicht mehr den heutigen entsprechen, und die Ergebnisse von COST wurden leider nur geschätzt. GOLDERs Resultate jedoch bieten einigermassen vergleichbare Werte, da er die Eindringtiefe auch mit dem Mikroskop exakt gemessen hat. Seine doppelt so grossen Messwerte sind damit zu erklären, dass sich erstens die Porosität der Zemente im Laufe der Zeit seit 1930 noch einmal verringert hat, dass er zweitens eine wässrige Methylenblaulösung von allen Seiten auf die Phosphatzementprobe einwirken liess, so dass er drittens nicht mit viskösem Speichel arbeitete, der geringere Eindringtiefen verursacht als Wasser (vergl. Diskussion, A) Methodik).
Das relativ tiefe Eindringen des Speichels in den Teil des Zementüberschusses, der am Zahn anliegt, mag mit der Kontraktion der Zemente während der primären und sekundären Erhärtung in Zusammenhang gebracht werden: Kontrahiert nämlich der Zementüberschuss, so entsteht zwischen ihm und der Zahnwand ein minimaler Spalt, dessen Grösse von der Masse des kontrahierenden Zementes abhängt (vgl. a. Kapitel Literatur). An den Innenwänden dieser Spaltbildung wird nun der Speichel mit Hilfe der van der Waalschen Kräfte, nämlich nach dem Gesetz der Kapillarität, hochsteigen. Dieses Gesetz erklärt auch das tiefere Eindringen des Speichels in Risse, Blasen und kleinste Einbuchtungen am Randschluss des Zementes, wie es in vorliegenden Versuchen immer wieder beobachtet wurde.
Auch die Einwirkungszeit der gefärbten Flüssigkeit beeinflusst das

Ausmass der Eindringtiefe. Das sagen die Versuchsreihen 3-8 aus, und das gleiche kann auch TRAIL (54) berichten. Über die Geschwindigkeit teilt er mit, dass bei Körpertemperatur die Eindringtiefe von 2 mm in 18 Stunden, bei Zimmertemperatur erst in 25 bis 30 Stunden erreicht wurde, so dass meine Versuchsergebnisse, die sich nach 24 Stunden bei Raumtemperatur ergaben, mit TRAILs Werten in Beziehung zu setzen sind. Dass er dennoch viermal so grosse Eindringtiefen gemessen hat, liegt wiederum an den andersgearteten Versuchsbedingungen: Er benutzte anderes Material, künstlichen Speichel und natürliche Zähne, die, wie schon erwähnt, von Flüssigkeit angegriffen werden können (HENSEL (21)). Dazu kommt, dass TRAIL (54), wie eigentlich alle Autoren, die Farbe auf eine grosse Phosphatzementfläche einwirken liess.
Dagegen verwehrte bei meinem Versuchsmodell ganz allgemein der exakte Randschluss des Inlays ein tieferes Eindringen des Speichels in die Zementschicht unter den Inlayrand. Doch kann bei einem Goldinlay der Randschluss durch intensives Bearbeiten mit Kugel- und Schlagpolierer in Richtung Inlayrand im günstigsten theoretischen Fall noch so sehr verbessert werden, dass der Speichel nicht mehr eindringen kann. Die Feinarbeit kann aber erst nach dem Einzementieren erfolgen, da sonst beim Einzementieren der Zementbrei nicht mehr durch einen so geringen Spalt gepresst werden kann (s. Versuchsserien A und B).
Eine eindrucksvolle Verringerung der Eindringtiefen des Speichels brachte die Verwendung einer schwereren Konsistenz, die offenbar, wie auch KNAPPWOST (31) bestätigt, die Porosität wesentlich verbessert. Da dadurch viele andere Qualitäten des Zementes gehoben werden, empfehlen viele Autoren (SCHUG-KÖSTERS (51), KETTERL (28), KNAPPWOST (31), COST (4) u.a.) zum Einzementieren das Anrühren des Zementes auf gekühlter Platte.
Zusammenfassend seien noch einmal alle Faktoren aufgeführt, die beim Einzementieren von Inlays das Eindringen des Speichels unter das Gussobjekt positiv oder negativ beeinflussen:

1. Das Mischungsverhältnis
2. Das Belassen des Zementüberschusses
3. Die Viskosität des Speichels
4. Die Art der Zementunterlage (Schmelz, Dentin oder Gold)
5. Die Kontur der Abbruchstelle des Zementüberschusses
6. Die Passgenauigkeit des Inlays
7. Das Anfinieren der Inlayränder
8. Die Porosität des Zementes
9. Die Kontraktion des Zementes.

Aus Versuchsserie C sind nachstehende Folgerungen für die Praxis zu ziehen:

1. Der Zement muss mit allseitigem Überschuss unter möglichst langer Trockenhaltung (im Munde mindestens 5 Minuten) nach dem Einzementieren ungestört und vollständig erhärten.

2. Der Zementüberschuss soll frühestens nach 10 Minuten abgesprengt werden.
3. Das Anrühren des Zementes sollte mit möglichst viel Pulver auf einer Thermoanrührplatte mit Wasser von 14 bis 16°C erfolgen.
4. Der Spalt zwischen Inlay und Kavität soll vor und nach dem Einzementieren ca. 30 µm betragen.
5. Frühestens 24 Stunden nach dem Einzementieren soll der Inlayrand mit Schlag- und Kugelpolierer zum Rand hin sorgfältig anfiniert werden.

Z U S A M M E N F A S S U N G

1. Im Kapitel Literatur wurden die wesentlichen Arbeiten zusammengetragen, die sich mit dem Themenkreis vorliegender Untersuchungen befassen. Besonders ausführlich wurde dabei auf das Kapitel Prüfungsmethodik eingegangen, da die Kenntnis darüber die wichtigste Voraussetzung für jede solide experimentelle Untersuchung darstellt.

2. Ein Phosphatzement wurde als Mittel zum Befestigen von Inlays im Hinblick auf folgende Verhaltensweisen untersucht:
   A) Die Verteilung des Phosphatzementes beim Einzementieren von MOD-Inlays
   B) Die Auswalzbarkeit des frisch angerührten Befestigungszements
   C) Die Eignung des Zementüberschusses als Schutz vor eindringender Mundflüssigkeit unter das Inlay.

3. In Versuchsserie A ergab sich, dass beim Einzementieren die Methode des Bestreichens von Inlay und Kavität mit Zement massgebend ist für eine vollständige Verteilung des Zementes zwischen Kavität und Inlay. Eine rationelle Bestreichungsmethode, die sehr gute Ergebnisse brachte, wird genau beschrieben.

4. Bei einseitigem Zusammenpressen zweier Glasplatten (Versuchsserie B), zwischen denen sich frisch angerührter Phosphatzement befand, wurde mikroskopisch eine Häufung von zementfreien Partien am Ende der dünn auslaufenden Zementfahne beobachtet. Diese Auflockerung des Zementfilmes begann bei einer Zementfilmdicke von durchschnittlich 15 bis 33 µm (Mikron).

5. Neun weitere Versuchsreihen der Versuchsserie C ergaben, dass bei einem klinisch gut sitzenden Inlay der äusserste Rand der Zementschicht, die Zahn und Inlay miteinander verkittet, dem Speichel zugänglich ist. Dabei wurde experimentell nachgewiesen, dass in jedem Fall der Zementüberschuss, solange er belassen wird, das Eindringen von Speichel verhindert und somit während des Abbindens den Zement im Spalt zwischen Inlay und Kavität vor schädlicher Feuchtigkeit schützen kann. Sorgfältiges Anfinieren der Inlayränder, vor allem im cervical-approximalen Bereich wird dringend empfohlen.

6. Die Anwendung der schwereren Standard- und Herstellerkonsistenz führt in den Versuchsserien B und C im Vergleich zu den Resultaten einer dünneren, "praxisüblichen" Mischung zu einwandfrei besseren Resultaten. Auf normaler Glasplatte angerührt erwies sich dieses Mischungsverhältnis für Befestigungszwecke allerdings als zu dickflüssig. Deshalb wurden die Proben dieser Konsistenz auf einer Thermoplatte mit Wasser von 14-16°C angespatelt.

7. Alle Versuchsserien wurden an Hand von auffindbarer Vergleichsliteratur ausführlich diskutiert, die Ergebnisse eingehend ausgewertet.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. AMERICAN DENTAL ASSOCIATION:
Dental Cements.
Guide to Dental Materials, Chicago, 1964

2. BECK, H.: Unterschiede der Passgenauigkeit von MOD-Gussfüllungen auf galvanisch versilberten und unversilberten Modellen aus Palavit M.
Med. Diss. Mainz 1962

3. CASTAGNOLA, L.:
Autopolymerisierende Kunstharzfüllungen.
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Vorträgen, H.10, S.11, 1951

4. COST, A.: Chemische und physikalische Eigenschaften neuerer Phosphatzemente und ihre Verwendbarkeit in der konservierenden Zahnheilkunde.
Med. Diss. Köln 1937

5. DIECK: Über eine methodische Prüfung der Silikatzemente.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 10, 225 u. 289, 1922

6. DOLDER, E.: Die Beurteilung zahnärztlicher Produkte in den Vereinigten Staaten von Amerika.
Schweiz. Monschr. f. Zhk. 12, 1214, 1951

- Nichtmetallische Werkstoffe.
Die Zahn-, Mund und Kieferheilkunde 5, 1955
Verlag Urban und Schwarzenberg, München-Berlin

7. DRUM, W.: Prüfungsvorschriften für Phosphatzemente.
Erwiederung auf die vorstehende Arbeit von Prof. Weikart. DZZ 4, 1555, 1949

8. FALCK, K.: Einführung in die Werkstoffkunde.
Karl Hanser Verlag München 1948

9. FEDERATION DENTAIRE INTERNATIONALE:
Specification No. 6 for Dental Zinc Phosphate Cement.
International Dental Journal 13, 138, 1963

10. FUSAYAMA, T., KIMIKO, I., KUROSO, A. and HOSODA, H.:
Cement Thickness between Cast Restorations and Preparation Walls. (Die Zementdicke zwischen Gussobjekten und Präparationswänden.)
Journal of Proth. Dentistry 13, 354, 1965

11. GATES, M. A.:
Cementing Inlays. (Das Einzementieren von Inlays.)
J. Am. Dent. Ass. Seite 435, 1928

12. GREVE, H. Chr.:
Theoretische und praktische Studien über Zahnzemente.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 1, 346, 1913

13. GOLDER, P.: Die Grundlagen der methodischen Prüfung von Zink- und Aluminiumphosphatzement.
Med. Diss. Tübingen 1930

14. GRIESER, E.: Grundlagen und Ergebnisse bei der experimentellen Untersuchung einiger jetzt im Handel befindlicher Phosphat-, Silikat- und Steinzemente auf: Anrührzeit, Abbindung, Volumenveränderung, Widerstand gegen Kaudruck, Stossfestigkeit, Haftintensität, Porosität, Wärmeleitvermögen, Hydratisierung, Löslichkeit und Transparenz.
Med. Diss. Berlin 1953

15. GUTSCHE, H.-J.:
Welchen Einfluss hat die Behandlung des Dentins auf die Haftintensität des Phosphatzementes?
Med. Diss. München 1961

16. HALLA, F. und KUTZELNIGG, A.:
Zur Kenntnis des Zinkphosphatzements.
Zs. f. Stomatologie 31, 177, 1933

17. HANDLOS, J. K.:
Untersuchungen über den Einfluss der Konsistenz auf die Eigenschaften verschiedener Zinkoxyphosphatzemente.
Med. Diss. Frankfurt/Main 1951

18. HARNDT, E.: Karies, Klinik und Therapie.
Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 2, 319, 1955
Wilhelm Meyer Verlag von Urban und Schwarzenberg
München/Berlin

- Die Gussfüllung.
Sammlung Meusser,
Johann-Ambrosius Barth Verlag Leipzig 1947

19. HARTUNG, L.:
Die Druckfestigkeit des normalhärtenden Zinkoxyphosphatzementes in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Pulver/Flüssigkeit und von der Temperatur der Anrührplatte.
Med. Diss. München 1961

20. HATTEMER, W.N.:
Ist auf dem Gebiet der in der Zahnheilkunde verwendeten plastischen nichtmetallischen Füllungen in den letzten Jahren ein Fortschritt zu verzeichnen?
Med. Diss. Mainz 1956

21. HENSEL, M.: Über die Methoden der Silikatzementprüfung, ihre Vereinfachung und Bewertung.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 10, 494, 1922

22. HESS, W.: Über die Abschlussdichtigkeit der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Füllungsmaterialien.
DZZ 4, 533, 1949

- Über Randschluss und Wanddichte der richtig hergestellten und verarbeiteten Füllungsmaterialien und den Einfluss auf die Pulpa und die paradentalen Erkrankungen.
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Vorträgen
Carl Hauser Verlag München, Heft 13, 1953

23. HEUSER, H.: Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluss von Füllungen.
2. Die Gussfüllung.
Stoma 2, 16, 1949

24. HÖXBROE, A.F.:
Untersuchungen über den Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf Erhärtungsdauer, Klebekraft und Cohäsion der Phosphatcemente.
Med. Diss. Berlin 1920

25. HOFFMANN: Persönliche Mitteilung.
Richter & Hoffmann Harvard-Dental-Gesellschaft
Berlin

26. ILG, V.K.: Werkstoff- und Verarbeitungsnormen zahnärztlicher Werkstoffe, aufgestellt durch das National Bureau of Standards.
DZZ 4, 743, 1949

- Probleme der einwandfreien Herstellung der MOD-Gussfüllung.
Stellungnahme zu der Arbeit von A. Langer.
ZW 16, 430, 1949

- Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame I.
DZZ 6, 127, 1951

- "% lin. und Vol%"
DZZ 9, 802, 1954

- Untersuchungen zur indirekten Technik, im besonderen zur Modelltreue in der indirekten Technik.
DZZ 10, 690, 1955

- Untersuchungen zur "indirekten Technik".
Teil I: Gedanken zur "indirekten Technik".
DZZ 14, 1305, 1959

- Untersuchungen zur "indirekten Technik".
Teil II: Modellmaterial geformt. Präparation positiv.
DZZ 16, 1140, 1961

27. JØRGENSEN, K.D.:
Factors Affecting the Film Thickness of Zinc Phosphate Cements. (Faktoren, die die Filmdicke von Zinkphosphatzementen beeinflussen.)
Acta odontologica Scandinavica 18, 479-90, 1960

- Structure of the Film of Zinc Phosphate Cements.
(Die Struktur des Films von Zinkphosphatzementen.)
Acta odontologica Scandinavica 18, 491-501, 1960

28. KETTERL, W.:
Die Silikatzementfüllung heute.
Z.Pr. 12, 157 und 169, 1961

- Morphologische Grundlagen zur Behandlung defekter, vitaler Zähne.
Karies und Füllungsmethoden, Seite 69
Verlag Dr. Banaschewski München-Gräfelfing 1964

KETTERL, W.:
Über Zinkoxydphosphatzement.
Z. Pr. 17, 1, 1966

KETTERL, W. und TOEPFER, H.:
Kritische Betrachtungen zur Herstellung der Gussfüllung.
Karies und Füllungsmethoden, Seite 106
Verlag Dr. Banaschewski München-Gräfelfing 1964

29. KIRSCHSIEPER, S.:
Untersuchungen deutscher Silikatzemente.
Med. Diss. . Frankfurt/Main 1950

30. KLOEVEKORN, F.:
Experimentelle Untersuchungen einiger provisorischer Verschlussmaterialien auf deren Farbdurchlässigkeit und Bakteriendichte.
Med. Diss. Mainz 1951

31. KNAPPWOST, A.:
Über die Zersetzung und Zersetzungshemmung der Phosphatzemente im Bereich der Mundhöhle.
DZZ 5, 1022, 1950

- Kapillare Spaltbildung unserer plastischen Füllungsmaterialien als Ursache der hohen Sekundärkariesfrequenz.
1. Mitteilung.
DZZ 6, 602, 1951

32. KRIEGER, M.:
Mikroskopischer Beitrag zur Kenntnis des Abbindungsvorganges der Zink-Phosphat-Zemente.
Med. Diss. Berlin 1937

33. KULKA, M.: Über die wichtigsten mechanischen und einige chemische Eigenschaften der Silikat- und Zinkphosphatzemente.
Österr.-ungar. Vierteljahresschr. f. Zhk., Seite 565 und 1910, 1907

- Neue Ergebnisse der Zementforschung.
Österr.-ungar. Vierteljahresschr. f. Zhk., Seite 228, 1913

KULKA, M.: Welchen Wert haben Laboratoriumsversuche für die Beurteilung unserer Füllmaterialien?
Zs.f.Stomatologie, Seite 597, 1927

- Die neueren Zemente und ihre Eigenschaften.
Zs.f.Stomatologie, Seite 872 u. 1080, 1927

34. KUNERT, W.: Neuere Untersuchungen über Phosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung der Volumbeständigkeit und Klebekraft.
Med.Diss.Köln 1940

35. LIEBELT, B.: Experimentelle Untersuchungen über die Kontraktion verschiedener Befestigungszemente mittels der Blasendruckmethode nach Knappwost.
Med.Diss.Tübingen 1953

36. LINKE, F.: Über die Raumbeständigkeit der Füllungszemente.
Med.Diss.Leipzig 1936

37. MORGENSTERN, M.:
Untersuchungen der Silikat- und Zinkphosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung ihrer physikalischen Eigenschaften.
Österr.-ungar.Virteljahresschr.f.Zhk. 21, 514, 1905

38. NEUKOMM, P.:
Löslichkeit, Druckfestigkeit und Porosität zahnärztlicher Zinkoxyphosphatzemente.
Diss.helv.Zürich 1953

39. NORMAN, R.D., SWARTZ, M.L. and PHILLIPS, R.W.:
Studies on Filmthickness, Solubity and Marginal Leakage of Dental Cements. (Untersuchungen über die Filmdicke, Löslichkeit und Randdurchlässigkeit von zahnärztlichen Zementen.)
J.Dent.Research 42, 950, 1963

40. v.OBERMAYER, A.:
Ein Beitrag zur Kenntnis der zähflüssigen Körper.
Sitzungsberatung der k.Akademie der Wissenschaften math.naturw.Cl. LXXV Bd.II Abth.1877

41. PAFFENBARGER, G.C., SWEENY, W.T. and ISAACS, A.:
A Preliminary Report on the Zinc Phosphate Cements. (Einleitender Bericht über die Zinkphosphatzemente.)
J.of Am.Dent.Ass. 20, 1960, 1933

PAFFENBARGER, G.C., SWEENY, W.T. and ISAACS, A.:
Zinc Phosphate Cements: Physical Properties and a Specification. (Zinkphosphatzemente: Physikalische Eigenschaften und eine Spezifikation.)
J. of Am. Dent. Ass. 21, 1907, 1934

PAFFENBARGER, G.C. and BEALL, J.R.:
American Dental Association: Specification No. 8 for Dental Zinc Phosphate Cement.
First Revision.
J. of Amer. Dent. Ass. 24, 2019, 1937

PAFFENBARGER, G.C., SWEENY, W.T. and SCHONLOE, P.:
Dental Cement. (Zahnärztlicher Zement.)
Year Book of Dentestry, Seite 341, 1956/57 Chicago

42. PAPE, M.: Über Permeabilität solcher Zahnfällungsmaterialien, welche zum temporären Einschluss von Arsenik verwendet werden.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 34, 396, 1931

43. PIETSCH, E.: Untersuchungen über die Löslichkeit von Zahnzementen.
Med. Diss. Mainz 1955

44. POHLE, E. und STREBINGER, E.:
Über die Wasserstoffionenkonzentration der menschlichen Mundflüssigkeit.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 10, 306, 1922

45. PORSCHE, A.:
Die Eignung der Zinkoxyd-Phosphatzemente als Befestigungsmittel.
DZZ 16, 87, 1961

46. PROELL, F.: Experimentelle Untersuchungen über die Ursache des Zahnpulpatodes unter Silikatzementen nebst theoretisch-praktischen Studien über Zemente und andere Füllmaterialien.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 1, 81, 1913

- Nachträgliches über Silikatzemente.
Dtsch. Monschr. f. Zhk. 4, Heft 1, 1916

47. RAWITZER, W.:
Allgemeine Methoden der Materialprüfung bei der Untersuchung von Zahnzementen.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 35, 1131, 1932

48. REBEL, H.-H.:
Konservierende Zahnheilkunde.
Carl Hanser Verlag München 1947

49. RICHTER, R.: Welche Berechtigung hat die Richtersche Silikatzementprobe als sogenannte Prüfungsnorm für die schnelle Wertbestimmung der Silikatzemente?
Dtsch. Monschr. f. Zhk., Seite 536, 1913

50. SCHOENBECK, F.:
Zahnärztliche Werkstoffkunde.
Verlag Barth Leipzig 1942

51. SCHUG-KÖSTERS; M.:
Lehrbuch der Kavitätenpräparation.
Wilhelm Maudrich Verlag Wien 1951

- Zur Kavitäten-Präparation im allgemeinen und speziell für plastische Füllungsmaterialien.
Karies und Füllungsmethoden, Seite 25
Verlag Dr. Banaschewski München-Gräfelfing 1964

- Zur Kavitätenpräparation für die Gussfüllung.
Karies und Füllungsmethoden, Seite 42
Verlag Dr. Banaschewski München-Gräfelfing 1964

52. SKINNER, E.: The Science of Dental Materials. (Zahnärztliche Materialkunde.)
W. B. Saunders Company Philadelphia and London 1948

53. SWARTZ, M. L. und PHILLIPS, R. W.:
Influence of Manipulative Variables on the Marginal Adaptation of Certain Restorative Materials. (Der Einfluss der manipulierbaren Veränderlichen auf den Randschluss bestimmter Füllungsmaterialien.)
J. of Proth. Dentistry 12, 172, St. Louis, USA, 1962

54. TRAIL, J. S. und SAUSEN, R. E.:
Über die Abschlussdichte von Zinkphosphatzementfüllungen.
J. Dent. Research 41, 525, 1962

55. VOLLAND, R.H., PAFFENBARGER, G.C. and SWEENY, W.T.:
A Study of Zinc Phosphate Cement by a Group of Practicing Dentists under the Direction of the A.D.A. Research Fellowship at the National Bureau of Standards. (Eine Untersuchung von Zinkphosphatzement von einer Gruppe praktizierender Zahnärzte unter der Leitung der A.D.A.-Forschungsgemeinschaft am National Bureau of Standards.)
J. of Am. Dent. Ass. 22, 1281, 1935

56. VOLKMANN, K.H.:
Vergleichende Untersuchungen an Phosphatzementen.
Med. Diss. Frankfurt/Main 1954

57. WEIKART, P.:
Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe.
DZZ 4, 1550, 1949

- Zum Thema Präzisionsguss.
Zahnärztl. Welt 10, 90, 1955

- Grenzen und Prüfung der Gussgenauigkeit.
DZZ Seite 897, 1957

- Werkstoffkunde für Zahnärzte.
Carl Hanser Verlag München 1959

58. WESTPHAL, W.H.:
Kleines Lehrbuch der Physik.
Springer Verlag Berlin 1953

Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl möchte ich für die Überlassung des Themas, seine verständnisvolle Geduld und wohlwollende Unterstützung meinen herzlichen Dank aussprechen.

Frau Professor Dr. Dr. M. Schug-Kösters danke ich für die Freundlichkeit, mit der sie mir das Arbeiten in ihrer Abteilung ermöglichte.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. Dr. H. Schach für seine stets hilfsbereit erteilten Ratschläge.

Herrn Schäfer danke ich für die präzise Herstellung der Kunststoffmodelle.

L E B E N S L A U F

Am 17. März 1939 wurde ich, Barbara Gutman, geb. Lorenz als Tochter des Kaufmanns, Kurt Lorenz, und seiner Frau, Elfriede, geb. Wieland, in Chemnitz geboren.
1946 starb mein Vater nach seiner Rückkehr aus russischer Gefangenschaft.
Nach vier Jahren Volksschule in Obergünzburg, Allgäu, der Heimat meines Vaters, besuchte ich ab 1949 das Realgymnasium in Kaufbeuren, Allgäu, und legte dort im Jahre 1958 die Reifeprüfung ab.
Mit dem Sommersemester 1959 begann ich mein zahnmedizinisches Studium an der Universität München. Hier bestand ich nach fünf Semestern die zahnärztliche Vorprüfung. Nach weiteren zwei Semestern an der Freien Universität Berlin und drei Semestern an der Universität München legte ich im Sommer 1964 an der Maximilians-Universität in München das zahnärztliche Staatsexamen ab. Seitdem bin ich hier in München als Assistentin tätig.
Im Dezember 1964 heiratete ich und habe seit Anfang 1966 eine Tochter.